

Title	環境負荷軽減化を目的とした独立住宅の研究 - 住宅の形状生成法と工法および建材選択モデルへ知識技術を適用した設計方法 -
Author(s)	宗本, 順三
Citation	(2004)
Issue Date	2004-04
URL	http://hdl.handle.net/2433/84815
Right	
Type	Research Paper
Textversion	publisher

環境負荷軽減化を目的とした独立住宅の研究

—住宅の形状生成法と工法および建材選択モデルへ知識技術を適用した設計方法—

(13450244)

平成13年度～平成15年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））研究成果報告書

京 都 大 学 図 書



1040941060

附 属 図 書 館

平成16年5月

研究代表者 宗本 順三
(京都大学大学院工学研究科教授)

環境負荷軽減化を目的とした独立住宅の研究

—住宅の形状生成法と工法および建材選択モデルへ知識技術を適用した設計方法—

(13450244)

平成 13 年度～平成 15 年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））研究成果報告書

平成 16 年 5 月

研究代表者 宗本 順三
(京都大学大学院工学研究科教授)

はじめに

この報告書は、平成 13～15 年度に、文部省科学研究費補助金を受けた研究の成果をとりまとめたものである。

研究組織

研究代表者：	宗本 順三	(京都大学大学院工学研究科教授)
研究分担者：	銚井 修一	(京都大学大学院工学研究科教授)
	吉田 哲	(京都大学大学院工学研究科助手)
	高田 暁	(京都大学大学院工学研究科助手)
	岩田 伸一郎	(京都大学大学院工学研究科助手)
	松下 大輔	(京都大学大学院工学研究科助手)
研究協力者：	唐 芑	(京都大学大学院工学研究科博士後期課程)
	隋 杰礼	(京都大学大学院工学研究科博士後期課程)
	政岡 由哲	(有限会社アジルアーツ代表取締役)

交付決定額（配分額）

(金額単位：千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 13 年度	7,900	0	7,900
平成 14 年度	2,500	0	2,500
平成 15 年度	1,800	0	1,800
総計	12,200	0	12,200

研究発表

- (1) 学会誌 (TANG Peng, MUNEMOTO Junzo, YOSHIDA Tetsu, MATSUSHITA Daisuke, An Equilibrium Model of Wooden Detached House Dimension and its Distance to Urban Center at a Constant Minimum CO2 Emission, Proceedings of the 6th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment in Matsuyama, Japan, 2003, pp.161-174)
- (2) 学会誌 (SUI Jieli, MUNEMOTO Junzo, YOSHIDA Tetsu, MATSUSHITA Daisuke, Shape Study on Wooden Detached House for Reducing Life Cycle CO2, Life Cycle Cost and Life Cycle Waste, Proceedings of the 6th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment in Matsuyama, Japan, 2003, pp.175-192)
- (3) 学会誌 (MUNEMOTO Junzo, HOKOI Shuichi, HARIMOTO Kazuyoshi, YOSHIDA Tetsu, TAKANO Shungo, Multi-Objective Problem Reducing LCC, LCCO2, Final Waste in Selecting Materials for Detached House -The System which Select a Combination of Building Materials and Construction Methods to "the Standard Building Model" with GA-, Proceedings of the 3rd Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment in Dalian, China, 2002, pp.197-211)

目 次

第1章 序論

- 1-1 研究の背景・目的 1
- 1-2 研究の方法 3
- 1-3 既往研究の中での位置づけ 3
- 参考文献 5

第2章 住宅の形状・建材・工法選択システムにおけるデータベースの構築

- 2-1 はじめに 9
- 2-2 評価値の算出の手順とデータの種類 10
- 2-3 データの整理とデータベースの組み立て 13
- 2-4 「建築 GA シミュレータデータベース」プログラムの作成 15
- 2-5 まとめ 19
- 参考文献 19
- 収集したデータ 20

第3章 独立住宅モデルの形状変化と建材・工法選択

- 3-1 研究の背景と目的 33
- 3-2 研究の方法 33
- 3-3 形状特性の変化と環境負荷 33
- 3-4 建材・工法選択 GA システムの構築 38
- 3-5 建材・工法選択 GA システムの試行 42
- 3-6 結論 47
- 参考文献 48

第4章 木造独立住宅の形状と LCCO₂、LCC、最終廃棄物量の低減

- 4-1 研究の背景と目的 51
- 4-2 既往研究の位置付け 51
- 4-3 試行システムの組み立て 52
- 4-4 結果と考察 57
- 4-5 結論 65
- 参考文献 66

第5章 木造独立住宅の空間規模と通勤距離のCO₂排出量均衡モデル

5-1 研究の背景と目的	69
5-2 既往研究の位置付け	71
5-3 モデルとシミュレーションの方法	71
5-4 試行と結果	76
5-5 考察	79
5-6 まとめ	79
参考文献	80

第6章 結論

6-1 本研究のまとめ	83
6-2 今後の課題	84

第1章 序論

1-1 研究の背景・目的

建築が完成してから、或いは設計が完了してからでは、化石燃料の消費や熱帯雨林の破壊への配慮に処する方法はきわめて限定される。そこで、建築企画の段階から設計段階における建築のライフサイクルを見通した環境への配慮、つまり環境負荷軽減を目指した建築とその建築を決定する設計行為は、重要な意味をもつと言える。

また、個別単体の住宅の環境負荷軽減ができて都市全体としての環境負荷問題は解決できるとは言えない。世帯を単位として、各世帯が排出する CO₂ の量は建物のライフサイクルを通して排出される CO₂ はもとより、住宅立地から職場への通勤による CO₂ 排出も、同様に大きな割合を占めている。建物のライフサイクルを通して排出される CO₂ は住宅の規模や資材によって異なり、通勤のエネルギー消費による CO₂ は都市における住宅の立地により異なってくる。これを適切に定めると、CO₂ を増加させることなく、より豊かな住宅と生活が可能になると考えられる。

本研究の特徴は

(1) 研究の対象 - 独立住宅

独立住宅は建築全体に占める割合が最も高く、一般的にその立地環境や規模、平面、形状や性能、仕様などは多様であるが、本研究で取りあげるモデルは独立住宅の企画段階から、設計段階、施工段階、完成後の維持管理や運用、解体除去のすべての段階、つまり建築物のライフサイクルをシステムとしてとらえる。すべての段階を通して CO₂ 排出量 (LCCO₂) と最終廃棄物量を環境への負荷ととらえ、さらに住宅建築を成立させる基盤としてのライフサイクルコスト (LCC) を評価尺度とする。

また、住宅建物の形状と規模によって建材が用いられる各部位の面積、室容積や日射取得面の面積が異なり、建物の環境負荷が異なってくる。建物の形状に適切な建材の組合せや仕様を見つけだす方法とその結果を知ることが出来れば、環境負荷を軽減させる設計上、有用な方法となる。そのため、標準建築物モデルの形状や規模を変化するモデルを研究に取り入れている。

(2) 住宅の形状・建材・工法選択システムにおけるデータベースの構築と改良

建築物は異なる機能や性能をもつ各部位の組合せにより構成されたものと考えることができ、またその異なる機能や性能のため各部位毎に選択される資材も異なってくる。つまり建築物における資材使用は各部位毎に資材選択を行った総体として考えられ、建築資材の選択は建築物をその構成部位別に分解して扱うのが妥当である。この考え方にに基づき建築建材選択システムを構築した。これまでの研究では、環境工学分野での熱負荷計算な

どで用いられる標準問題のモデルを用い、その LCCO₂、LCC、最終廃棄物量を最小化する建材の組合せの解を遺伝的アルゴリズム (genetic algorithms, 以下 GA) を用いたシステムによって求めた。

さらに、設定したモデルの形状、規模などを自由に変えるとき、それに追従するデータベースの必要が生じた。そのためデータベースが、毎年のデータの更新とモデルの形状規模選択などの利用が容易となるように改良した。改良したデータベースに基づいて「建築 GA シミュレータデータベース」プログラムを作成した。

(3) 独立住宅モデルの形状の変化と建材・工法選択

住宅の面積が一定であっても建物の形状によって建材が用いられる各部位の面積、室容積や日射取得面の面積が異なり、建物全体としての環境負荷が異なってくる。建物の形状に適切な建材の組合せや仕様を見つけたす方法とその結果を知ることが出来れば、環境負荷を軽減させる設計上、有用な方法となる。LCCO₂ と最終廃棄物量、LCC の最小化を目指したときのモデル形状と建材・工法選択の関係を把握するため、独立住宅の企画段階から解体除去までのライフサイクルを通して LCCO₂、最終廃棄物量、LCC を同時に最小化する多目的問題に遺伝的アルゴリズムを用いて、仮定したモデル形状に対して CO₂ 排出量と最終廃棄物量、コスト等の評価値を最小化する建材・工法選択を提示する。また、より自由な形の住宅モデルを作り出して、3つの環境負荷評価値と住宅形状変化との関係を GA 評価によって示した。

(4) 木造独立住宅の空間規模と通勤距離の CO₂ 排出量均衡モデル

環境負荷の問題は、大部分の人々の生活の場である都市空間と密接に関連する。本研究は、住宅だけではなく、住宅の都市内での立地と規模の関係を捉えて、各世帯が環境負荷を均等に負担する視点から、都市における住宅の規模と立地の新たな視点を与える。ここでは、都市全体の世帯から排出される CO₂ 総量がある水準に抑える場合、各世帯が均等に CO₂ 排出の制約を負担すると仮定した。この研究では、一定の CO₂ 排出量制約の仮定の下で、住宅のライフサイクル CO₂ と、通勤の CO₂ 排出を適切にコントロールした場合に、どのような住宅が可能であるか、CO₂ 排出量の均衡モデルを用いて調べるものである。アロンゾなどが用いたモデル (文献 28) を参考にし、最も単純な例として、線状都市と独立住宅をモデル化し CO₂ 均衡モデルを作成する。そのモデルによって、鉄道での通勤移動の短縮化によって、在来木造住宅に振り向けることが出来る「通勤 CO₂」の剰余を各世帯の住宅床面積の増大に充てる。これらのシミュレーションを通して、住宅の立地、規模とその住宅の年間 CO₂ 排出量の関係を示した。

本論では、住宅の形状・建材・工法を同時に最適な組合せを目指す多目的問題として、GA を用いた「住宅の形状・建材・工法選択 GA システム」で進化的に解を求めることを提

案し、住宅の形状・規模と建築資材の選択に伴う LCC、LCCO₂ や最終廃棄物量の最小化を目指すところに特徴がある。また、住宅単体だけの研究ではなく、住宅の規模、立地と各世帯の CO₂ 負担条件から CO₂ 排出量の均衡モデルを用い、都市の立地環境でより良い住宅空間を見出そうとするものである。

1-2 研究の方法

本研究では、まず基本的なデータ整備が重要である。住宅の形状、規模、さらに都市内の立地と LCCO₂、LCC、最終廃棄物の関係、またこれらを低減する住宅の最適な形状を得る研究を進めるために、データベースを新しく整理した（文献 23,24）。住宅の形状、規模に対応する資材・工法などのデータファイル群は「建築 GA シミュレータデータベース」プログラムによって得た。

次に、建材仕様を固定した在来木造住宅を対象として、標準問題の住宅（文献 27）からモデルの形状を変化させた場合の CO₂ 排出量と廃棄物量、コストの特性を把握する。「建材・工法選択 GA システム」を用いて LCC、LCCO₂、最終廃棄物量を同時に最小化することを目的とした GA の試行を行った。仮定したモデル形状での建材・工法の選択の試行し、標準問題の住宅モデルでの建材・工法選択を試行で得られた建材・工法の組合せの解とを比較し、モデル形状の変化と建材・工法選択の変化の関係を把握した。第四章では、一般的に見られる住宅の形から発展させ、三角形の組み立てによって得た住宅の形状と環境負荷評価値との関係を GA 試行によって明らかにした。

最後に、アロンゾなどが用いたモデルを参考にして、CO₂ 排出量の均衡モデルを作成した。ある世帯の 1 年当たりの環境負荷指標は、「LCCO₂」と居住者の単位年度当たり通勤移動のエネルギー消費量（「通勤 CO₂」）の合計から算出されるものとする。このような環境負荷指標を一定とした場合、つまり各世帯の環境負荷を均等とした場合に、鉄道による通勤移動を短縮して得られる「通勤 CO₂」の剰余を在来木造独立住宅に振り向け、各世帯の住宅床面積の増大に充てることができるものとした。このような CO₂ 均衡モデルによって木造独立住宅の規模と立地との関係を得た。

1-3 既往研究の中での位置づけ

本論に関連する分野として、建築の LCC 及び LCCO₂ や GA を用いた最適化問題がある。

LCC に関する研究では、LCC を合理的に削減するための方策を模索する研究と、修繕コストから見た修繕周期や建物の部位別の劣化特性等を把握する研究が行っていた。前者では、石塚が RC 造の中規模事務所建築をモデルとして LCC を計算した結果から、ランニングコストが LCC の過半を占めこれを合理的に減少させることが重要であることを明らかにした（文献 6）。玄他は、AHP を用いて設備システムの LCC 分析を行う最適案選定システムを開発している（文献 10）。高草木は、賃貸事務所建物の 20 年間の支出データの実態調査結果に基づき賃貸事務所建物経営の収支計画のためのキャッシュアウトフローのモデル

を作成した(文献13)。後者では、飯塚は、電話局舎100局の外観からの減耗度調査から修繕費を出した上で適正な修繕周期を求めている(文献1)。石塚は、材料から技術的に判断される修繕期間とその場合のコストのかけ方、取替時期を一覧表にし、また経済性を考慮した修繕手法をとりまとめている(文献2)。また、石塚は事務所建築の標準的な間取、階数、仕上種類のモデルによって規模による修繕費の相違を検討して、標準建築修繕費を算出している(文献3)。古阪は、基本設計における仕様の決定時に概略な維持保全計画の最適化が論理的に達成できる数理モデルを開発している(文献4)。村上は、事務所ビルの保全実績費用から部位別の保全行為のタイプと機能劣化曲線のパターンによる解析部位の劣化特性を把握している(文献5)。

LCCO₂に関する研究では、酒井他が標準使用型、リサイクル資材使用型、省エネ型の3タイプでは、LCCO₂の排出量削減において省エネ型が効果的であることを指摘している(文献12)。岡は産業連関表に基づいて、特に必要資源量、エネルギー消費量、CO₂等排出量の関係に着目し、事務所ビルにおいて、建設費や運転費が各産業部門に及ぼす波及効果や究極的に消費される原料を、省エネルギービルと比較した(文献7)。また、建設に必要な主要資源量、CO₂・NO_x・SO_x・ばいじんの排出量、建設に伴う産業廃棄物排出量を406産業部門から計算している。竹林芳久は、エネルギー消費量は建設費単価に比例し、単位面積あたりの必要資源量、CO₂等排出量、廃棄物排出量はエネルギー消費量に比例することを明らかにした(文献8)。さらに鈴木道哉らは10の建物を対象に建設から運用によって生じるエネルギー消費量、CO₂排出量を産業間で引き起こされる波及効果分を連関分析手法を用いて解析・定量化している(文献11)。鈴木道哉らは、住宅においては各構造別にエネルギー消費量とCO₂排出量を算出しており、単位面積あたりのエネルギー消費量は木造住宅に比べて集合住宅・軽量鉄骨住宅の方が高くその原因を構造工事によるものであることを明らかにした(文献9)。酒井は、1985年産業連関表の取引基本表、建設部門分析用産業連関表を用いて建築構造毎の単位延床面積当たりの資材消費量の解析、建築資材別炭素排出量の算出をおこない建設資材としての木材の有用性を説いている(文献25)。また、有馬は1年間に着工される住宅の総数における生産から解体にいたるエネルギーをライフサイクルエネルギー調査から求めCO₂の発生量をC換算で求めている(文献26)。

廃棄物発生量については、紅谷他は構法別・用途別廃棄物量原単位の整備をおこなっている(文献21)。以上のようにLCC、LCCO₂、廃棄物量などを個々に算出して、その効果的な削減を模索する研究は数多く見られる。

以上は単体の建築の建設や維持、運用についての研究である。

都市計画分野では、鈴木、松橋は、都市をモデル化し、通勤及び業務移動エネルギーを最小化する計算によって、コンパクトな最適立体都市形態を示した(文献18, 19, 20)。武元和治他は建築物の統合と分散による都市更新の環境負荷評価を行った(文献14)。

以上は、建築物の環境負荷計算に簡略化された平均的なデータを用いて、都市尺度から見た省エネルギー型の都市空間構造に関する研究である。

本論は環境負荷の組合せ問題について進化的計算を用い、複数の評価値を同時に最小解に近い資材選択の組合せを行うという特徴がある。また、従来建築の空間問題として、住宅の空間形状、空間規模、また都市空間内の立地などをモデルの条件として取り入れた研究は殆ど行われていない(文献 15,16,17,22,29,31)。単位世帯の住宅の規模、立地と各世帯が CO₂ を均等に負担する条件から CO₂ 排出量の均衡モデルを用い、より良い住宅空間を見出そうとする研究はまだ見られない(文献 30)。これらの研究は、筆者らのグループを除いて行われていない。

参考文献

1. 飯塚裕「計画修繕のための適正な修繕周期」日本建築学会論文報告集、第 147 号、pp.53-59、1968.5
2. 石塚義高「第一報 標準建築修繕費算出方法 標準建築修繕費算出に関する研究」、日本建築学会論文報告集、第 335 号、pp.105-110、1984.1
3. 石塚義高「第二報 建築規模による修繕費の変化 標準建築修繕費算出に関する研究」、日本建築学会計画系論文報告集、第 348 号、pp.53-58、1985.2
4. 古阪秀三「維持保全計画の計量的方法に関する研究」、日本建築学会計画系論文報告集、第 368 号、pp.147-156、1986.10
5. 村上公哉「建物の保全費用からみた物理的要因の機能劣化に関する研究」、日本建築学会計画系論文報告集、第 418 号、pp.115-124、1990.12
6. 石塚義高、「第一報 建築物のライフサイクルコスト算定方法の開発、建築物のライフサイクルコスト算定に関する研究」、日本建築学会計画系論文報告集、第 356 号、pp.63-67、1985.10
7. 岡建雄、「産業連関表による建築物の評価 その 1. 省エネルギービルと一般事務所ビルの比較」、日本建築学会計画系論文報告集、第 359 号、pp.17-23、1986.1
8. 竹林芳久、「産業連関表による建築物の評価 その 2. 事務所建築建設による環境への影響」、日本建築学会計画系論文報告集、第 431 号、pp.31-38、1992.1
9. 鈴木道哉、岡建雄、岡田圭史、「産業連関表による建築物の評価 その 3. 住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量」、日本建築学会計画系論文報告集、第 463 号、pp.75-82、1994.9
10. 玄昌澤、金文漢、「AHP および LCC 概念を利用した最適案選定システムの開発—設備システムの選定を中心に—」、日本建築学会計画系論文集、第 469 号、pp.149-156、1995.3
11. 鈴木道哉、岡建雄、岡田圭史、矢野謙禎、「産業連関表による建築物の評価、その 4. 事務所ビルの建設・運用に関わるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量」、日本建築学会計画系論文集、第 476 号、pp.37-43、1995.10
12. 酒井寛二、漆崎昇、相賀洋、下山真人、「建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量とその抑制方策に関する研究」、日本建築学会計画系論文集、第 484 号、pp.105-112、1996.6

13. 高草木明、「賃貸事務所建物経営の収支計画に対応したライフサイクルコストに関する研究」、日本建築学会計画系論文集、第 496 号、pp.145-152、1997.6
14. 武元和治、酒井寛二、漆崎昇、中原智哉「都市更新における環境負荷に関する研究」、日本建築学会計画系論文集、第 524 号、pp.85-91、1999.10
15. 弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、高野俊吾、「独立住宅の建材選択に伴う LCCO₂, LCC、最終廃棄物量低減の多目的問題」、日本建築学会計画系論文集、第 524 号、pp.77-84、1999.10、
16. 宗本順三、銚井修一、張本和芳、吉田 哲、高野俊吾、「独立住宅モデルでの建材選択における LCCO₂、LCC、最終廃棄物量低減の多目的問題—その 2「標準問題」の独立住宅モデルでの GA を用いた工法、建材選択システムの研究—」、日本建築学会計画系論文集、第 551 号、pp.85-92、2002.1
17. 弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、高野俊吾、「環境負荷低減を評価基準とした住宅建材の構成選択システムへの GA 適用の研究」、日本建築学会第 21 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、pp.391-396、1998.12
18. 鈴木勉、「コンパクトな立体都市空間形態に関する考察」第 28 回日本都市計画会学術研究論文集、pp.415-pp.420、1993
19. 松橋啓介、「省エネルギー型都市の立体都市空間形態に関する考察—移動エネルギーの観点から—」、第 31 回日本都市計画会学術研究論文集、pp.43-pp.48、1996
20. 鈴木勉、「職住複合形式に着目した最適職住配置パターンに関する研究」、第 33 回日本都市計画会学術研究論文集、pp.55-pp.60、1998
21. 紅谷裕、菊池雅史、渡部護弥、大島正明、「住宅解体副産物の発生量等に関する調査・研究 その 3 発生量原単位、比重について」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、材料施工、pp.815-816、1995.8
22. 高野俊吾、弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、「環境負荷低減を評価基準とした住宅建材の構成選択システムへの GA 適用の研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、環境工学 I、pp.889-890、1998.9
23. 唐 芑、隋 杰礼、宗本順三、吉田 哲、「LCCO₂、LCC、最終廃棄物量の最小化を指標とした住宅の形状、資材選択システムにおけるデータベース」—その 1. データの種類—、日本建築大会学術講演梗概集（東海）、pp.595-596、2003 年 9 月
24. 隋 杰礼、唐 芑、宗本順三、吉田 哲、「Database for System of Housing Form and Building Material Selection to Minimize LCCO₂, LCC and Final Waste」 Part 2 database construction、日本建築大会学術講演梗概集（東海）、pp.597-598、2003 年 9 月
25. 酒井寛二、「建築が地球環境に与える影響-建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定-」、日本建築学会、建築と地球環境特別研究委員会、pp.22、1992.6
26. 有馬孝礼、「建築が地球環境に与える影響-住宅への資源、エネルギー投入による CO₂ 放出と木材による炭素 C ストック-」、日本建築学会、建築と地球環境特別研究委員会、

pp.19、1992.6

27. 宇田川光弘、「標準問題の提案 住宅用標準問題」、日本建築学会環境工学委員会 熱分科会 第15回 熱シンポジウム
28. William Alonso, [Location and Land Use – Toward a General Theory of Land Rent], Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1964
29. MUNEMOTO Junzo, HOKOI Shuichi, HARIMOTO Kazuyoshi, YOSHIDA Tetsu, TAKANO Shungo, Multi-Objective Problem Reducing LCC, LCCO₂, Final Waste in Selecting Materials for Detached House -The System which Select a Combination of Building Materials and Construction Methods to "the Standard Building Model" with GA-, Proceedings of the 3rd Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment in Dalian, China, 2002, pp.197-211
30. TANG Peng, MUNEMOTO Junzo, YOSHIDA Tetsu, MATSUSHITA Daisuke, An Equilibrium Model of Wooden Detached House Dimension and its Distance to Urban Center at a Constant Minimum CO₂ Emission, Proceedings of the 6th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment in Matsuyama, Japan, 2003, pp.161-174
31. SUI Jieli, MUNEMOTO Junzo, YOSHIDA Tetsu, MATSUSHITA Daisuke, Shape Study on Wooden Detached House for Reducing Life Cycle CO₂, Life Cycle Cost and Life Cycle Waste, Proceedings of the 6th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment in Matsuyama, Japan, 2003, pp.175-192

第2章 住宅の形状・建材・工法選択システムにおけるデータベースの構築

2-1 はじめに

建築物は、異なる機能や性能をもつ各部位の組合せにより構成されたものと考えることができ、またその異なる機能や性能のため、各部位毎に選択される資材も異なってくる。つまり建築物における資材使用は各部位毎に資材選択を行った総体として考えられ、建築資材の選択は建築物をその構成部位別に分解して扱うのが妥当である(図1)。この考え方に基づき(文献1)、建築建材選択システムの構築を行ってきた。今までの研究には、環境工学分野で熱負荷計算などに用いられる標準問題のモデルを用い、そのLCCO₂、LCC、最終廃棄物量を最小化する建材の組合せの解を遺伝的アルゴリズム(以下GA)を用いたシステムによって求めた(文献2)。選択システムは、まず使用資材選択の検討対象を決定し、その後対象建築物の各部位における仕様等を選択することによる資材選択を行い、その選択された組合せに対し評価を行った。

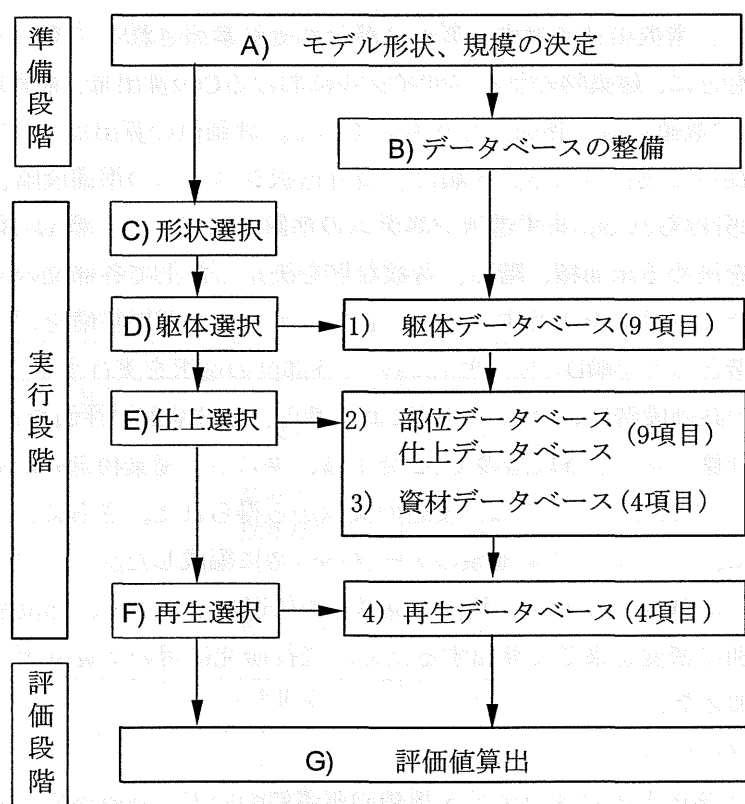


図1 建築建材選択システムの組立

さらに、このシステムを発展させ、住宅の規模、都市の中の立地とLCCO₂、LCC、最終廃棄物の関係、またLCCO₂などを低減する住宅の最適形状を得る研究を進めている。そのため、設定したモデルの形状、規模などを自由に変えるとき、資材使用量、空調などのエ

エネルギー消費量のデータは、別のフローで数値を計算した上でデータベースに読み込むこととし、それに追従するデータベースの必要が生じた。このため、筆者のグループがこれまで使っていたデータは修正することが必要になり、また、例えばコストなどは、毎年新しいものに更新する必要性もあったため、データベースを改良した。さらに、改良したデータベースに基づいて、「建築 GA シミュレータデータベース」プログラムを作成した。ここでこのデータベースの作成とプログラムについて説明する。

2-2 評価値の算出の手順とデータの種類

本研究では、検討対象のモデルは標準問題モデルの形状だけではなく、面積を一定とし、1階と2階の床面積比、平面形状、階高などを同時に変化させる独立住宅を含める。住宅の平面計画および内装は固定のものとし、評価は行わない。建物のライフサイクルは①資材の製造、輸送、②部材製造、③建設、④運用、⑤改修、⑥廃棄、⑦再生の7段階とした。

まず仮定したモデルの形状、窓面積割合などを先に選択し、つづいて各部位の面積、容積を決定する。各部位における仕様等を選択することにより、あらかじめ整備された各データベースから、選択項目に対するデータがそれぞれ参照される。そして参照により得られたデータをもとに、建築物のライフサイクルにおけるCO₂排出量、最終廃棄物量、コストを算定し、その3数値に対し評価を行うものである。評価値の算出は図1に示すA) からG) までの手順に従って実行される。手順は、資材選択システムの準備段階、実行段階、評価段階の3段階に分けられる。まず選択システムの準備段階として手順A) B) C) で、モデルの形状や規模を決める床面積、階高、階数などを決定した上で各部位の面積や体積などを算出する、またシステムを実行するために必要なデータなどの整備を行う。次に選択システムの実行段階として手順D) E) F) において各部位の選択を実行する。そして手順G) の選択システムの評価段階において、実行により得られた候補解の評価を行う。

各評価値の計算フローと各段階のCO₂発生量、コスト、廃棄物量の計算に用いたデータを表2に示す。これらのデータは、後述の文献から得られた。さらに、このデータを計算しやすいように、表1に示す4種類のデータベースに編成した。データベースの中の「資材別使用量」の計算は、モデルの形状、規模を先に選択してから、部位別の面積を得る。この値に資材別の密度を乗じて算出するため、先行研究に用いた資材データベースに「密度」の項目を加えた。

1) 躯体データベース

在来工法と工業化工法の合わせて6種類の躯体について、各躯体について「資材別使用量」、「建設時の廃棄物量」、「耐用年数」、「部材製造時CO₂排出量」、「部材製造コスト」、「建設時のCO₂排出量」、「建設コスト」、「断熱性能」、「積載効率」の9項目についてのデータベースを整備した。

2) 部位データベースと仕上データベース

部位データベースと仕上データベースは屋根、天井、壁、床、基礎の各部位ごとにデー

データベースを整備した。各部位（基礎を除く）は外装材、下地材、内装材、断熱材に分解して考える。各仕上げ建材に対して、各部位とも躯体データベースと同様に「資材別使用量」など9項目を定義するが、工場で部材製造する必要がない部分では「部材製造時 CO2 排出量」、「部材製造コスト」の2項目を除いた。さらに、壁体など部材厚さについても選択する部位に関しては体積当りで算出するため、「最大厚」、「最小厚」2項目を仕上げデータベースに加えた。

モデルの形状を決定する躯体データベースと各仕上げデータベースの1階と2階は同じ内容で整備した。

3) 資材データベース

モデルに使用する建材を資材に分解し、住宅形状、工法、仕上げ方法による各資材の総量を求める。資材データベースには資材別に「資材 CO2 原単位」、「資材コスト原単位」、「積載効率」、「密度」の4項目についてデータを整備した。資材 CO2 排出量原単位は日本建築学会により1985年産業連関表の逆行列を利用して作成された国内406部門毎の製品重量当りの CO2 排出原単位を使用する。コスト原単位は日本建築学会による CO2 排出原単位では同時に国内406部門毎の製品生産単価及び購入単価が算出されており、この重量当りの購入単価を資材コストのデータとする。不足データについては他の研究で得られた値を使用する。

4) 再生処理データベース

各資材の各処理方法を再生資材別に「再生処理時 CO2 排出量」、「再生処理コスト」、「再生材の収率」、「再生材の売値価格」の4項目について整備した。

表1 データの種類

データベース名			項目
1) 躯体データベース			9
部位データベース素 仕上げデータベース	壁	壁体	9
		外壁仕上	9
		外壁下地	9
		壁断熱材	8
		内壁下地	9
		内壁仕上	9
		窓ガラス	8
		サッシュ	5
	床	床構造	9
		床仕上	9
		床下地	9
		床断熱	8
	天井	天井吊材	6
		天井仕上	9
		天井下地	9
	屋根	小屋組	9
		屋根外装材	9
		屋根下地	9
		屋根断熱材	8
3) 資材データベース			4
4) 再生データベース			4

表2 評価値の計算に利用するデータ

LCCO ₂ =	段階	CO ₂ 排出量	データの種類
T1	資材	資材生産	資材使用量* ¹ 、資材 CO ₂ 原単位* ²
+T2	資材	資材の工場からの輸送	資材使用量* ¹ 、輸送 CO ₂ 原単位* ⁸ 、積載効率
+T3	部材	部材製造	部材製造による CO ₂ 原単位* ⁴
+T4	建設	建設現場	建設による CO ₂ 排出量* ³
+T5	運用	年間生活エネルギー消費	エネルギー消費量* ¹ 、電力 CO ₂ 原単位* ⁵ 、躯体寿命* ⁵
+T6	改修	改修	資材使用量* ¹ 、資材 CO ₂ 原単位* ² 、改修回数* ⁶
+T7	廃棄	廃棄物を処分場へ輸送	資材使用量* ¹ 、輸送 CO ₂ 原単位* ⁸ 、積載効率
+T8	再生	再生処理	再生材の使用量* ¹ 、再生率* ⁷ 、再生処理時の CO ₂ 原単位* ⁷
LCC=	段階	コスト	データの種類
C1	資材	資材生産	資材使用量* ¹ 、資材コスト原単位* ²
+C2	資材	資材の工場からの輸送	資材使用量* ¹ 、輸送コスト原単位* ² 、積載効率
+C3	部材	部材製造	部材製造によるコスト原単位* ⁴
+C4	建設	建設現場	建設によるコスト* ³
+C5	運用	年間生活エネルギー消費	エネルギー消費量* ¹ 、電力コスト原単位* ⁵ 、躯体寿命* ⁵
+C6	改修	改修	資材使用量* ¹ 、資材コスト原単位* ² 、改修回数* ⁶
+C7	廃棄	廃棄物を処分場へ輸送	資材使用量* ¹ 、輸送コスト原単位* ⁸ 、積載効率
+C8	廃棄	廃棄処分	廃棄処分コスト* ⁴
-C9	再生	再生材の売却	再生材の使用量* ¹ 、再生率* ⁷ 、再生材の売値価格* ⁷
LCW=	段階	廃棄物	データの種類
W1	建設	建設現場	建設による廃棄物量* ⁴
+W2	廃棄	資材使用	資材使用量* ¹ 、資材の再生率* ⁷
-W3	再生	再生利用による	再生材の使用量* ¹ 、再生材の再成率* ⁷

「注」:

- *1. 資材使用量などの算出は設定したモデル形状の選択によって資材別に算出される。
- *2. 建物の LCA 指針、日本建築学会、地球環境委員会、LCA 指針策定小委員会、1998.11
- *3. 建築のライフサイクルエネルギー算出プログラムマニュアル、建築研究資料、No.91、建設省建築研究所、1997.12
- *4. 積算ポケット手帳、2003 前期編、建築資料研究社、2003
- *5. 建築が地球環境に与える影響、日本建築学会、建築と地球環境特別研究委員会、1992.6
- *6. 改修回数 = {(躯体寿命/資材耐用年数) - 1}、小数点以下切捨。資材耐用年数は*4 を参考。
- *7. 廃棄物の建設事業への再利用技術に関する研究、建設省建築研究所、財団法人国土開発技術研究センター、1986.3
- *8. 建築・地球環境・地球環境の在り方、日本建築学会、地球環境委員会、ライフサイクル小委員会、1996.

2-3 データの整理とデータベースの組み立て

本研究で用いた資材、仕上げなどのデータは数多くの参考文献から得ている。各文献から用いられたデータを分類し、それぞれに名前を付けて、Excel のワークシートに書き込み、データベースの基盤として整理した。表 3 は参考にした主な文献の内容を整理し、一覧表にしたものである。左側 1 番目、2 番目の「No」と「表名」、例えば、「No」の a とは「標準工事歩掛要覧 改訂版」という参考文献であり、「表名」の a001 は、「標準工事歩掛要覧 改訂版」の中から得られた一つの表であることを示している。図 2 はすでに整理した元のデータからデータベースへの組み立て方法である。表 3 中の表名は図 2 の右側の項目と対応している。収集した具体的なデータは本章の最後 (pp.20~pp.31) に示した。

住宅モデルの環境負荷評価値 LCCO₂, LCC, LCW の算出と GA 評価のために、5 つのデータベースを作成した。具体的に挙げると、A 資材データベース、B 仕上げ材データベース、C 躯体データベース、D 部位データベース、E 再生データベースであり、いずれもすでに図 1 の手順に示している。(A,B,C,D,E とは、それぞれデータベースの順番ではなく、データベースを構築するときのコードである。)

表 3 データの参考先 (次のページに続く)

No	表名	作者	文献名	ページ	元表名	巻号	年	月
a	a001	工事歩掛 研究会	標準工事歩掛 要覧 改訂版	pp.1147	表建 12-4 木工事		1983	5
	a002			pp.1159	表建 13-22 壁鉄板波板張			
	a003			pp.1158	表建 13-21 天井金属化粧板張			
	a004			pp.1222	表建 19-5 屋根合成樹脂波板ぶき			
	a005			pp.1152	表建 13-4 亜鉛鉄板折版屋根			
	a006			pp.1153	表建 13-6 屋根亜鉛鉄板ぶき			
	a007			pp.1153	表建 13-7 アルミ合金板瓦棒ぶき			
	a008			pp.1153	表建 13-8 屋根銅板平ぶき			
	a009			pp.1223	表建 19-9 壁・天井せっこうボード張			
	a010			pp.1221	表建 19-1 屋根波形スレートぶき・壁スレート張			
	a011			pp.1222	表建 19-6 床材張物			
	a012			pp.1180	表建 14-14 壁モルタル塗 (コンクリート下地)			
	a013			pp.1181	表建 14-20 壁モルタル塗 (ラス下地)			
	a014			pp.1181	表建 14-17 壁せっこうプラスター塗 (コンクリート下地)			
	a015			pp.1182	表建 14-18 壁せっこうプラスター塗 (ラスボード下地)			
	a016			pp.1178	表建 14-3 床モルタル塗			
	a017			pp.1178	表建 14-4 床下地モルタル塗			
	a018			pp.1187	表建 14-52 床せっこうプラスター塗 (コンクリート下地)			
	a019			pp.1186	表建 14-50 天井モルタル塗 (コンクリート下地)			
	a020			pp.1187	表建 14-55 天井モルタル塗 (ラス下地)			
	a021			pp.1142	表建 11-15 手張工法			
	a022			pp.1126	表建 10-11 壁花こう岩 (ひき石) 張			
	a023			pp.1127	表建 10-14 壁大理石張			
	a024			pp.1127	表建 10-13 床大理石張			
	a025			pp.1154	表建 13-10 軽量鉄骨天井下地組			

	a026			pp.1224	表建 19-10 石綿セメント板張			
	a027			pp.1224	表建 19-11 吸音板張			
	a028			pp.1224	表建 19-12 化粧合板張			
	a029			pp.1225	表建 19-13 布張			
	a030			pp.1209	表建 17-3 ガラス工事歩掛			
	a031			pp.1225	表建 19-14 断熱板張			
	a032			pp.1092	表建 7-26 デッキプレート切断 (現場)			
	a033			pp.1221	表建 19-2 洋瓦・厚型スレート・和瓦ぶき			
	a034			pp.1152	表建 13-2 屋根下地			
	a035			pp.1190	表建 15-3 引違い窓			
b	b001	建築資料研究社	積算ポケット手帳 2003 前期編	pp.106	区分別大工工賃一木造・構造体工事		2003	
	b002			pp.138	鉄骨工事施工価額：現場加工組立費			
	b003			pp.120	型枠工事の見積り：鉄筋コンクリート造建築物（壁式構造）型枠歩掛り数量			
	b004			pp.483	サッシ取付け工事費			
	b005			pp.135	鉄筋材料及び施工価額：鉄筋加工組立費			
	b006			pp.108	区分別大工工賃：天井張関連工事			
	b007			pp.k8	建設労働者職種別賃金：東京			
	b008			pp.138	鉄骨工事施工価額：建方費			
	b009			pp.138	鉄骨工事施工価額：軽量鉄骨構造			
	b010			pp.93	2×4 工法木材価額：木工事			
	b011			pp.120	型枠工事の見積り：コンクリート容積（1 m ³ ）に対する概算型枠面積			
	b012			pp.130	コンクリート工事施工価額：コンクリート工事（施工手間）			
c	c001	日本建築学会・地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会	建物の LCA 指針 (1990 年産業連関表 国内消費支出)		1990 産業連関表		1998	11
d	d001	建設省建築研究所	建築研究所資料	pp.5	図 1.11 構・工法原単位管理画面	No.91	1997	11
	d002			pp.9~10	表 2.5(a) 仕上げに関する原単位データベース			
e	e001	建築材料教科書研究会	建築材料教科書	pp.168	表 6.3 遮音材料の一例	No.2	1997	6
f	f001	(財)住宅・建築・省エネルギー機構	省エネルギーハンドブック'98	pp.41~43	表 2-8 各材料の熱伝導		1998	4
	f002			pp.51	—			
g	g001	標準問題の提案—住宅用標準問題	日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回熱シンポジウム	pp.27	表 2 材料の熱定数表			
h	h001	日本建築学会地球環境特別研究会	建築地球環境・建築地球環境の在り方	pp.28	表 2-1 建築部材の製造に係る消費エネルギー量・炭素放出量原単位		1995	3
i	i001	野城 智也 他	日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)アルミサッシに関わる資源消費・環境負荷に関する考察	pp.880	表-2 アルミニウムの炭素放出量原単位		1994	9
j	j003	増田 彰他	建築構造物の解体に伴い発生するコンクリート廃材のリサイクルシステム	pp.2	表-2 シミュレーションに用いた解析要因・水準および仮定条件	No.4	1997	3
k	k001	空気調和衛生工学会に関する委員会	地球環境時代における建築設備の課題 (平成 7 年 6 月)	pp.56	表 3.4.7 建築素材生産時での CO ₂ 排出量原単位の比較		1995	6
	k002			pp.90	表 4.4.10 コンクリートの資材重量			
	k003			pp.90	表 4.4.11 基礎コンクリートの炭素排出量			

l	l001		標準モデルの 形状に関する データ					
	l002							
	l003							
m	m001	日本建築学 会	建築設計資料集 成 設備計画編	pp.22	熱・空気一熱負荷計算資料 I		昭和 52	11
	m002		建築設計資料集 成 1 環境	pp.258	国際単位系の換算率表		昭和 53	6
	m003		建築設計資料集 成 1 環境	pp.119	建築材料の熱定数 1		昭和 53	6

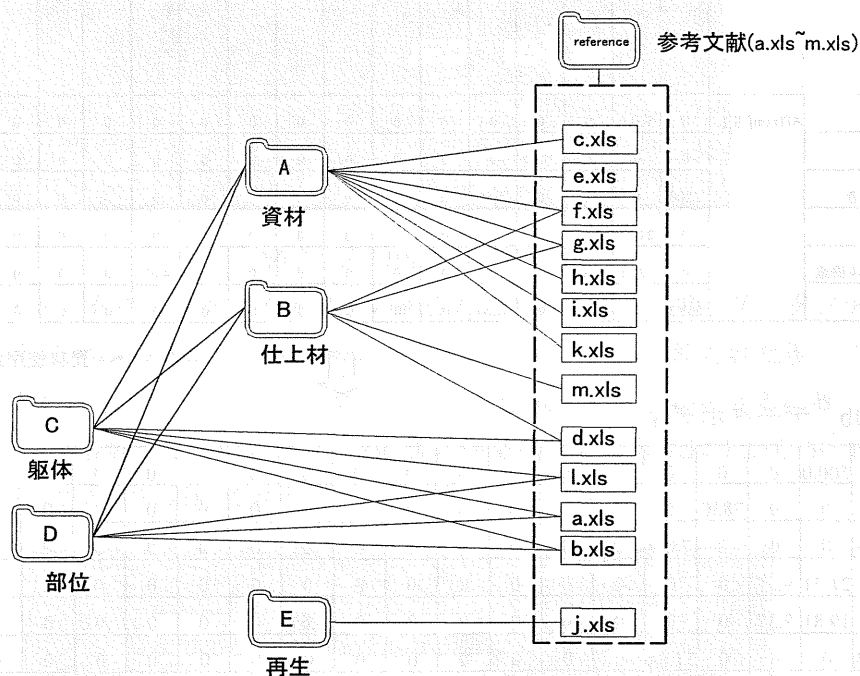


図2 元のデータからデータベースの組み立て

2-4 「建築 GA シミュレータデータベース」プログラムの作成

通常 Excel のファイルを C 言語プログラムで使用する配列データ形式に書き換えるには、大きな労力を必要とする。この研究では、これを省力化するため、整備されたデータの Excel のファイルを C 言語による GA プログラムで使えるデータ形式のファイルに変更できるプログラムを作成した。このプログラム作成では手作業の労力を減少させるだけではなく、今後のデータベースの更新と改良をも容易にした。

作業は上記 Excel のファイル（例：表 4a）をデータボディにして（例：表 4b）、その後、C 言語プログラムで使用する配列データ形式にする（例：表 4c）。表 4a の一部のデータを更新しても、表 4c の配列データはボタンクリックで更新される。また、このプログラムは今後のさまざまな形の独立住宅、集合住宅を含めて評価対象に対し、GA 計算用データファイルを階数の増加（1 層から 30 層まで）と標準層戸数の増加（1 戸から 12 戸まで）に対

応できるように設定した。

表 4a 整備したデータのファイル：Excel ファイル

		0: コンクリート	1: 製材	2: 合板	3: 鋼材	4: 鉄筋	5: アルミニウム	6: 銅	7: モルタル	8: ALC板	9: 陶磁器	10: ラスチック	11: 発泡プラスチック	12: クウール	13: ガラス	14: 瓦	15: 織物	16: 紙板	17: 石膏	18: 石材	19: 石綿
0: 在来木造	Aflrlm[]	0	500.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1: 在来S造		0	0	0	7830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2: 在来RC造		2200	0	0	0	7850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3: 2×4		0	21.71	9.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4: 断熱パネル構造		0	19.81	9.37	0	0	0	0	0	0	0	0	4.67	0	0	0	0	0	0	0	0
5: PC造		663.3	0	0	0	31.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



/*＝資材使用量(kg/m2)＝*/

表 4b データボディ

0	500.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	7830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2200	0	0	0	7850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	21.71	9.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	19.81	9.37	0	0	0	0	0	0	0	4.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
663.3	0	0	0	31.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

/*＝資材使用量 (kg/m2) =*/



表 4c GA で使用する配列データ

double Aflrlm[][20]=

```
{ { 0.0, 500.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 },
  { 0.0, 0.0, 0.0, 7830.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 },
  { 2200.0, 0.0, 0.0, 0.0, 7850.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 },
  { 0.0, 21.71, 9.37, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 },
  { 0.0, 19.81, 9.37, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 4.67, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 },
  { 663.30, 0.0, 0.0, 0.0, 31.84, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 };
```

/*＝ 資材使用量(kg/m2)= */

作成したプログラムは「建築 GA シミュレータデータベース」と呼ばれる。Windows 2000 に対応する。立ち上がるときに図 3 の入力画面が表示される。その中にデータファイルを作成する期日が表示される。

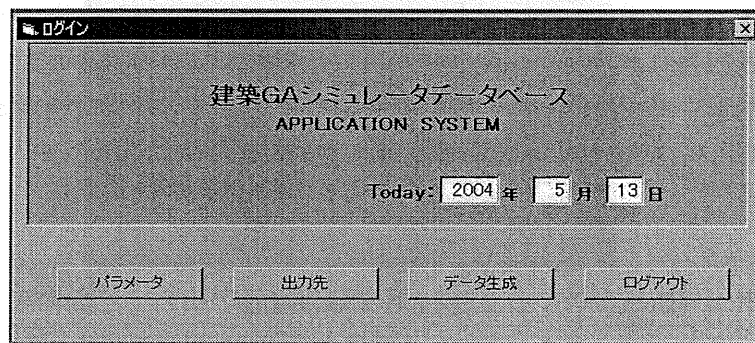


図 3 入力画面

次に「パラメータ」をクリックすると図 4 の画面が表示される。その時、データファイル作成者の氏名、住宅モデルの階数、戸数を設定する。パラメータが更新された後、このような住宅の規模に対応するいくつかのデータファイルを作成することができる。独立住宅の場合は、戸数が 1 で、階数は自由に設定できる。集合住宅の場合は階数は 1 から 30 まで、標準層戸数は 1 から 12 までに対応できる。



図 4 パラメータの設定

次に最初の入力画面（図 3）で「出力先」をクリックして、データファイルの出力先を設定する（図 5）。

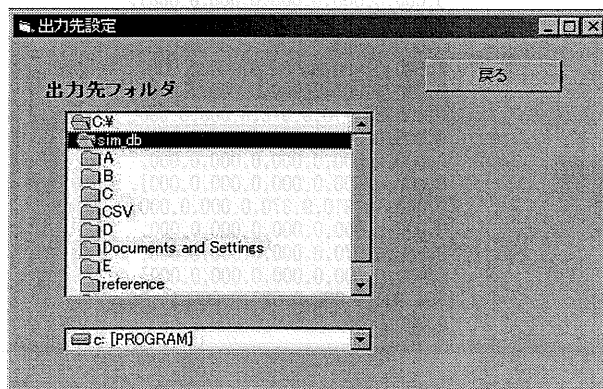


図 5 出力先の設定

設定が終わると、図6の確認画面が表示される。修正があれば、「戻る」へ、なければ「GO」をクリックしてデータファイルを生成する。

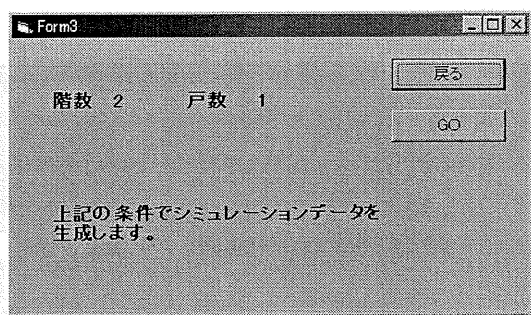


図6 メモの画面

以上の作業が終わると、出力先に新しく生成したファイルを見つけることができる。データファイルは、1組でそれぞれ躯体データベース、部位と仕上げデータベース、資材データベースと再生データベースを含めている。この1組のデータはこの住宅規模に対応した環境負荷評価値の計算とGA評価に用いるデータができるようになる。図7は2004年5月13日に、2階建ての独立住宅に対して、以上の作業により得たデータファイルの一部である。そのタイトルにはデータを作成した日付、作成者の名前が記録されている。また、ファイル内にはこのモデルについて、各部位のデータが明記されている。例えば、図7中の「1F」は1階の部分のことで、「A」以下は資材のデータである。

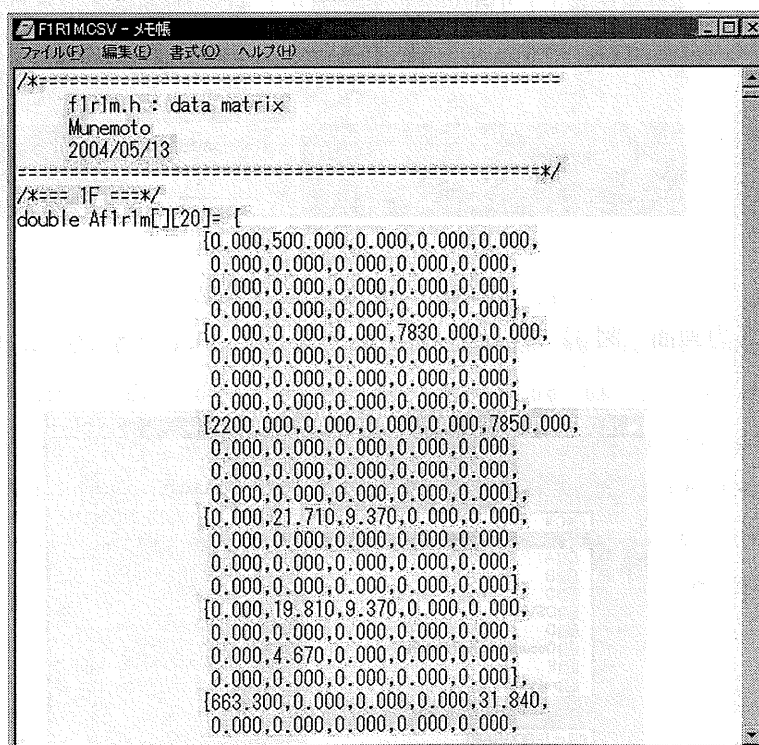


図7 出来上がったデータファイルの一部

2-5 まとめ

環境負荷の計算では、データの更新と精緻が重要であり、また、進行中の研究に対応できる使い易いデータベースの整備も必要である。そのため、毎年のデータ更新とモデルの形状規模選択などが容易となるように、データベースを改良した。研究対象としての住宅の多様性に柔軟に対応するために、今後もこのプログラムをますます改良していくことが必要である。

参考文献

1. 弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、高野俊吾、「独立住宅の建材選択に伴う LCCO₂,LCC、最終廃棄物量低減の多目的問題」、日本建築学会計画系論文集、第 524 号、pp.77-84,1999.10
2. 宗本順三、銚井修一、張本和芳、吉田 哲、高野俊吾、「独立住宅モデルでの建材選択における LCCO₂、LCC、最終廃棄物量低減の多目的問題—その 2「標準問題」の独立住宅モデルでの G A を用いた工法、建材選択システムの研究—」、日本建築学会計画系論文集、第 551 号、pp.85-92、2002.1
3. 唐 芑、隋 杰礼、宗本順三、吉田 哲、「LCCO₂、LCC、最終廃棄物量の最小化を指標とした住宅の形状、資材選択システムにおけるデータベース」—その 1. データの種類—、日本建築大会学術講演梗概集（東海）、pp.595-596、2003 年 9 月
4. 隋 杰礼、唐 芑、宗本順三、吉田 哲、「Database for System of Housing Form and Building Material Selection to Minimize LCCO₂, LCC and Final Waste」 Part 2 database construction、日本建築大会学術講演梗概集（東海）、pp.597-598、2003 年 9 月

収集したデータ

(表の番号と出典は表3と対応する)

a001

区分	名称	摘要	単位	材料			労務		出典
				木材(m ³)	釘(kg)	金物(kg)	大工(人)	手元(人)	
床	床板張下地 (1)(椽甲板)	根太 45×54	m ²	0.006	0.03	0.13	0.08	0.01	a.p1146 (表 12-4)
		縁甲板 15~18		1.15	0.04	-	0.09	0.01	
	床板張下地 (2)(フローリング)	根太 54×60	m ²	0.01	0.15		0.09	0.01	
	床板張下地 (3)(フローリング)	フローリング 15×18		1.1	0.04	-	0.1	0.01	
		根太 54×90		0.015	0.017		0.09	0.01	
壁	たたみ寄せ		m	0.015	0.02	-	0.08	0.01	a.p1147 (表 12-4)
	床板張下地 (4)(フローリング)	大引 105×105/2,根太 45×54	m ²	0.07	0.03	0.13	0.09	0.01	
	間仕切軸組(1)	土台 105×105,柱 105×105,間柱 105×105/2,頭つなぎ 105×105/2,		0.023	0.05	0.11	0.09	0.01	
	下見板張り			0.0235	0.07	-	0.09	0.01	
	胴縁	各種板・ボード類の下地		0.0064	0.05	-	0.08	0.006	
	合板張	胴縁・笠木・幅木を含まず		1.1m ²	0.02	-	0.08	0.08	
	羽目板張	合じゃくり,胴縁・笠木・幅木を含まず		0.0216	0.05	-	0.06	0.008	
	出入り口枠	幅 900×高 2,000mm,欄間,額縁なし	ヶ所				0.7	0.1	
	額縁	片面	m				0.03	0.008	
	窓枠上げ下げ	幅 900×高 1,800mm,欄間,額縁なし	ヶ所				2.2	0.3	
	内法材	敷居,鴨居,中鴨居	m				0.14	0.01	
	付鴨居		m				0.08	0.01	
天井	天井下地	釣木・釣木受け・野縁・野縁受けなど	m ²	0.0111~0.0196	0.12~0.19	0.13	0.12	0.014	a.p1148 (表 12-4)
	天井木摺			0.007	0.05	-	0.09	0.01	
	小屋組	陸ばり・二重ばり・合掌・真束・対束・方杖・振れとれめ・筋かい・棟木・母屋・転びとれめ隅木・谷木・添え板など	m ²	0.042~0.058	0.04~0.06	1.4~1.6	0.5	0.12	
	たる木			0.0074	0.05	-	0.016	0.01	
屋根	野地板			0.012	0.03	-	0.03	0.008	
	かわら棧			0.002	0.015	-	0.007	0.004	

a002

名称	摘要	単位	労務	出典
			板金工(人)	
鉄板波板張	1,829×762	m ²	0.09	a.p1159(表 13-22)
鉄板波板張	1,829×762	m ²	0.04	

a003

名称	摘要	単位	労務		出典
			板金工(人)	普通作業員(人)	
アルミスバンドレル	1,829×762	m ²	0.1	0.07	a.p1158(表 13-21)

a004

名称	摘要	単位	労務		出典
			板金工(人)	普通作業員(人)	
塩化ビニル	大波 960×1,820		0.03	0.01	a.p1222(表 19-5)

a005

名称	摘要	単位	労務		出典
			板金工(人)	普通作業員(人)	
山高 130	亜鉛鉄板 0.8		0.11	0.01	a.p1152(表 13-4)

a006

名称	摘要	単位	労務		出典
			板金工(人)	普通作業員(人)	
亜鉛鉄板平板ぶき	木造下地 914×1820		0.08	0.01	a.p1153(表 13-6)

a007

名称	摘要	単位	労務		出典
			板金工(人)	普通作業員(人)	
アルミ合金板	厚 0.4 455mm コイル		0.135	0.03	a.p1153(表 13-7)

a008

名称	摘要	単位	労務		出典
			板金工(人)	普通作業員(人)	
三ッ切	厚 0.4 365×400		0.23	0.04	a.p1153(表 13-8)

a009

名称	摘要	単位	労務		出典
			スレート工(人)	普通作業員(人)	
屋根大波スレートぶき	960×1,820	m ²	0.035	0.01	a.p1221 (表 19-1)
屋根小波スレートぶき	720×1,820		0.03	0.01	
壁小波スレート張	720×1,820		0.054	0.036	

a010

名称	摘要	単位	労務	出典
			内装工(人)	
壁・天井せっこうボード張	平物⑨ 目するかし張	m ²	0.065	a.p1223 (表 19-9)
	捨張		0.062	

a011

名称	摘要	単位	労務	出典
			内装工(人)	
床ビニルタイル張	2.0×303×303	m ²	0.04	a.p1222(表 19-6)
床ビニルシート張	ビニルシート 2.5		0.06	

a012

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
壁モルタル塗 金ごて	コンクリート下地 20mm	m ²	0.135	0.03	a.p1180 (表 14-14)
	コンクリート下地 25mm		0.14	0.038	
壁モルタル塗 刷毛引	コンクリート下地 20mm		0.115	0.03	
	コンクリート下地 25mm		0.2	0.038	

a013

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
壁モルタル塗	ワイヤラス下地 金ごて 18mm	m ²	0.17	0.03	a.p1181 (表 14-20)
	刷毛引 18mm		0.145	0.03	
	リプラス下地 金ごて 18mm		0.195	0.065	
	刷毛引 18mm		0.165	0.065	

a014

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
壁せっこうプaster塗	コンクリート下地 20mm	m ²	0.15	0.036	a.p1181 (表 14-17)

a015

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
壁せっこうプaster塗	ラスボード下地 15mm	m ²	0.125	0.03	a.p1182 (表 14-22)

a016

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
床モルタル塗 金ごて	20mm	m ²	0.038	0.025	a.p1178 (表 14-3)
	30mm		0.042	0.028	

a017

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
床下地モルタル塗	防水層下地 10mm	m ²	0.03	0.02	a.p1178 (表 14-4)
	タイル下地 20mm		0.036	0.022	
	張物下地 27mm		0.042	0.028	

a018

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
天井せっこうプaster塗	コンクリート下 地 20mm		0.173	0.04	a.p1187 (表 14-52)

a019

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
天井モルタル塗 金ごて	コンクリート下 地 12mm	m ²	0.16	0.024	a.p1186 (表 14-50)
天井モルタル塗 刷毛引			0.144	0.024	

a020

名称	摘要	単位	労務		出典
			左官(人)	手元(人)	
天井モルタル塗	ワイヤラス下地金ご て 12mm	m ²	0.187	0.003	a.p1187 (表 14-55)
	刷毛引 12mm		0.165	0.033	
	リプラス下地金ごて 12mm		0.254	0.085	
	刷毛引 12mm		0.236	0.085	

a021

名称	摘要	単位	労務		出典
			タイル 工(人)	普通作業員 (人)	
内壁タイル張	陶磁質 100mm 角積上げ張	m ²	0.263	0.084	a.p1142 (表 11-15)
壁タイル張	磁磁質 108×60mm 小口密着張		0.289	0.084	
	磁磁質 108×60mm 小口改良積上げ張		0.289	0.1	
床タイル張	磁器質 125mm 角		0.21	0.095	

a022

名称	規格	単位	数量	出典
鉄筋	9mm	kg/m ²	3.3	a.p1126(表 10-11)
引金物	黄銅径 3.5mm		0.04	
石工(壁ひき石)	—	人/m ²	0.36	
溶接工	—		0.03	
普通作業員	—		0.35	

a023

名称	単位	数量	出典
石工(壁大理石)	人/m ²	0.34	a.p1127(表 10-14)
溶接工(壁大理石)		0.02	
普通作業員(壁大理石)		0.33	

a024

名称	単位	数量	出典
床石工(壁大理石)	人/m ²	0.28	a.p1127(表 10-13)
床普通作業員(壁大理石)		0.25	

a025

名称	摘要	単位	類型			出典
			一般型ボード 900×900	一般型ボード 1800×900	特殊型ボード 900×450	
組立て費	φ91=150	人	0.043	0.04	0.05	a.p1154(表 13-10)

a026

名称	摘要	単位	内装工(人/m ²)	出典
壁フル 板張	6×910×1820 アルミジョイナー使用	m ²	0.082	a.p1224(表 19-10)
	6×910×1820 アルミジョイナー使用しない		0.105	
天井	4×910×1820 ビスとまめ		0.125	
	4×910×1820 ビスとまめ釘打		0.076	
テント板 張	4×910×1820 ビスとまめ釘打		0.076	

a027

名称	摘要	単位	内装工(人/m ²)	出典
ロックウール 吸音板張	12×303×606 ミネラートン	m ²	0.095	a.p1224(表 19-11)
吸音繊維板張	9×303×606 東洋ハード		0.009	

a028

名称	摘要	単位	内装工(人/m ²)	出典
メラミン化粧合板張	1.2×910×1820	m ²	0.31	a.p1224(表 19-12)

a029

名称	摘要	単位	内装工(人/m ²)	出典
壁クロス張	—	m ²	0.091	a.p1225(表 19-13)
天井クロス張	—		0.105	

a030

名称	摘要	単位	内装工(人/m ²)	出典
断熱板張	接着剤	m ²	0.097	a.p1225(表 19-14)

a031

名称	摘要	単位	労務	出典
			ガラス工(人)	
普通板ガラス	厚 2mm, 3mm 定寸	m ²	0.084	a.p1209(表 17-3)
複層板ガラス	p3:A6:p3		0.23	

a032

名称	摘要	単位	溶接工(人/m)	出典
デッキプレート切断	板厚 1.6mm	m	0.017	a.p1092(表 7-26)

a033

名称	摘要	単位	労務		出典
			屋根工(人)	普通作業員(人)	
和瓦ぶき	64 枚型	m ²	0.05	0.06	a.p1121(表 19-2)

a034

名称	摘要	単位	労務		出典
			屋根工(人)	普通作業員(人)	
木毛板	910×1820	m ²	0.04	-	a.p1152(表 13-2)

a035

名称	単位	労務	
		職種	人数
引違い窓(戸車付)幅 1,700×高 1,350	ヶ所	木製建具工	0.11

b001

名称	摘要	単位	歩掛り	出典
軸組み 切妻	土台・柱・間柱・筋かい・軒桁まで	m ²	0.38	B.P106
墨出し建て方歪直し	墨出し建て方歪直し	m ²	0.25	
和式小屋組み	梁間 3 間程度母屋・垂木とも	m ²	0.31	
外壁下見板張り手間	ささら子下見板の場合	m ²	0.15	
	南京下見板の場合	m ²	0.1	
	合じゃくり縦羽目板	m ²	0.09	

b002

名称種別	規格仕様	規模	施工規模別 価格	出典
構造別溶接費---全溶接	H 鋼・形鋼 10~20m/t 程度	200t	19,700	b.p138

b003

名称	摘要	歩掛り 数量	単位	厚さ(m)	労務		出典	使用 回数
					職種	歩掛り 員数		
型枠 (普通合板型枠)	型枠用合板厚 12mm	1.03	m ²	0.012	型枠工	0.12	b.p120	3.3
	さん材	0.005	m ³		普通作業員	0.06		
	角材	0.003	m ³					

b004

引違い取付け調整費

名称	単位	取付け調整費	出典
アルミサッシ	m ²	5,810	b.p483
スチールサッシ		6,550	

b005

名称	摘要	単位	施工規模別価格	施工費	出典
普通鉄筋加工組立費	普通のラーメン 構造 重ね継手	t	200t	53500	b.p135
構造別溶接費---全溶接	一般壁式構造 重ね継手		200t	68500	

b006

名称	摘要	単位	歩掛り	単価	出典
天井縁甲板張り	張りもの縁甲板の場合	m ²	0.88	1,792	b.p108

b007

建設労働者職種別賃金

職種	東京
とび工	20,100
土工	15,500
軽作業工	13,100
石工	23,900
鉄筋工	21,000
鉄骨工	21,000
防水工	20,000
建築ブロック工,フェンス工	20,000
塗装工	21,800
型枠工	22,300
左官	21,800
大工	22,400
板金工	19,700
タイル工	21,200
サッシ工	19,500
はつり工	19,700
屋根ふき工	19,300
内装工	19,900
建具工	19,700
電工	19,900
配管工	20,500
造園工	19,000

b008

名称	種別	規格、仕様	規模	施工規模別価格	出典
建方費	平家建物	建物高さ6m未満、鉄骨量 50kg・m ² 未満	200t	17,000	b.p138

b009

名称	種別	規格、仕様	規模	金額	出典
軽量鉄骨工場建物	工場加工組立費	ボルト、溶接併用 H.T.B.30本程度	50t	130,600	b.p138

b010

2×4 工法木材価格

木工事(躯体工事)			
名称	規格、仕様	単位	金額
枠組壁工法構造体人工 (大工手間)	土台、床枠組、壁枠組み、小屋組等の大工手間概算 (m ² 当り0.25人工)	延 m ²	5,600

b011

コンクリート容積(1 m³)に対する概算型枠面積

	01	02	03	04	05	06	
ヶ所	基礎	柱	はり	床板	壁体	階段	出典
型枠面積 m ² /m ³	2.1	5.5	6.1	7.8	12.8	7.6	b.p120

b012

コンクリート工事(施工手間)

01

種別	施工規模	単位	ポンプ打ち	出典
軽量コンクリート	100t	m3	2250	b.p130

c001

行 コード	名称	購入者価格あたり 原単位 (kg-CO ₂ /千円)		単位物量あたり原単位 (kg-CO ₂ /kg)	
		生産者段階内訳	流通段階内訳	生産者段階内訳	流通段階内訳
		国内[I-Ad]	国内[I-Ad]	国内[I-Ad]	国内[I-Ad]
		消費支出	消費支出	消費支出	消費支出
2522011	生コンクリート	15.96	0.445	0.109	0.003
1611011	製材	0.985	0.374	0.15	0.057
1611021	合板	1.764	0.324	0.501	0.093
2621011	鋼材(普通鋼形鋼)	13.692	0.22	0.973	0.016
2621014	鉄筋(普通鋼小棒)	14.197	0.196	0.871	0.012
2722021	アルミ圧延製品	2.112	0.108	1.313	0.067
2711011	銅	3.128	0.083	1.295	0.034
-	モルタル	-	-	-	-
-	ALC板	-	-	-	-
2531011	陶磁器	2.779	0.228	0.74	0.061
2211012	プラスチック製品	3.318	0.13	2.035	0.08
2211013	プラスチック発泡製品	3.22	0.153	2.115	0.101
2599099	ロックウール	7.113	0.298	0.174	0.007
2511012	板・安全・複層ガラス	3.373	0.267	0.678	0.054
-	粘土瓦(釉薬)	-	-	-	-
1512031	毛織物	1.529	0.381	9.566	2.384
1813011	板紙	10.737	0.356	0.917	0.003
621099	石膏(その他の窯業原料 鉱物)	3.735	0.938	0.01	0.003
622011	砂利・採石	3.427	0.696	0.006	0.001
2599091	石綿製品	7.359	0.292	9.238	0.367
2611031	転炉鋼	24.133	0.025	1.016	0.001
2611041	電炉鋼	9.475	0.025	0.554	0.001
622021	碎石	4.07	0.61	0.006	0.001
2521011	セメント	58.487	1.255	0.8	0.017
2523011	セメント製品	5.067	0.015	1.27	0.026

d001

建設時の所要エネルギー 単位:Mcal/m²

構・工法名称	戸建て住宅	集合住宅	事務所ビル	労働者の移動	工業化
在来軸組	53.87	53.87	53.87	32.13	0.7
ツーバイフォー在来	53.87	53.87	53.87	32.13	0.7
ツーバイフォーユニット	53.87	53.87	53.87	32.13	0.3
木造パネル	37.71	37.71	37.71	32.13	0.7
木造ラーメン	70.03	70.03	70.03	32.13	0.7
在来軽量S造	53.87	53.87	53.87	32.13	0.3
ボルトS造	56.36	56.36	56.36	22.93	1.1
ラーメンRC造	69.38	69.38	69.38	18.77	0.7
壁式RC造	69.38	69.38	69.38	18.77	0.7
SRC造	73.72	73.72	73.72	25.2	0.7
CB造	55.5	55.5	55.5	15.02	0.7

d003

単位	出典
0.4 kg/Mcal	建設省建築研究所 P5(式 1.4)

d002

表 2.5(a) 仕上げに関する原単位データベース 01

No	部位区分	仕上げ材:詳細名称	年	No	部位区分	仕上げ材:詳細名称	年
01	屋根(防水材仕上げ)	アスファルト防水 (歩行用)	30	71	外部開口 (金属仕上げ)	防火ドア(747×1900)	30
02	屋根(防水材仕上げ)	アスファルト防水 (露出)	15	72	外部雑 (金属仕上げ)	手すり (ステンレス、H=1100、笠木=φ40)	60
03	屋根(防水材仕上げ)	シート防水 (歩行用)	15	73	外部雑 (金属仕上げ)	手すり (アルミ、H=1100、笠木=φ90×60)	40
04	屋根(防水材仕上げ)	シート防水 (露出)	15	74	外部雑 (金属仕上げ)	手すり (スチール 100、笠木=φ60×30)	25
05	屋根(防水材仕上げ)	モルタル防水	15	75	外部雑 (金属仕上げ)	床下換気口	60
06	屋根(防水材仕上げ)	塗膜防水	10	76	内部床 (防水材仕上げ)	アスファルト防水 (密着工法、押えモルタル)	30
07	屋根(金属材仕上げ)	カラー鉄板 (平葺き)	15	77	内部床 (防水材仕上げ)	シート防水 (フチシート厚 1.0、押えモルタル)	30
08	屋根(金属材仕上げ)	カラー鉄板 (棒瓦葺き)	15	78	内部床 (防水材仕上げ)	モルタル防水(厚 30)	30
09	屋根(金属材仕上げ)	カラー鉄板 (折板屋根)	15	79	内部床 (防水材仕上げ)	塗膜防水	10
10	屋根(金属材仕上げ)	フッ素樹脂鋼板 (平葺き)	30	80	内部床 (石材仕上げ)	大理石張り(規格品厚 10)	60
11	屋根(金属材仕上げ)	フッ素樹脂鋼板 (瓦棒葺き)	30	81	内部床 (石材仕上げ)	テラゾーブロック張り (厚 25、目地幅 3、目地モルタル)	50
12	屋根(金属材仕上げ)	フッ素樹脂鋼板	30	82	内部床 (木材仕上げ)	縁甲板(厚 15)	30
13	屋根(金属材仕上げ)	フッ素樹脂鋼板 (折板屋根)	30	83	内部床 (木材仕上げ)	フローリング	20
14	屋根(金属材仕上げ)	カラーアルミ(平葺き)	30	84	内部床 (木材仕上げ)	合板張り(厚 9)	30
15	屋根(金属材仕上げ)	カラーアルミ (棒瓦葺き)	30	85	内部床 (木材仕上げ)	床用合板(厚 12)	30
16	屋根(金属材仕上げ)	カラーアルミ (折板屋根)	30	86	内部床 (木材仕上げ)	床用合板(厚 15)	30
17	屋根(金属材仕上げ)	カラー(タンコート)ステン レス板(平葺き)	50	87	内部床 (金属材仕上げ)	チェッカープレート(厚 4.5)	30
18	屋根(金属材仕上げ)	カラー(タンコート)ステン レス板(棒瓦葺き)	50	88	内部床 (金属材仕上げ)	チェッカープレート(厚 6)	30
19	屋根(金属材仕上げ)	カラー(タンコート)ステン レス板(折板屋根)	50	89	内部床 (左官材仕上げ)	モルタル塗り(金鍍仕上げ、厚 25)	30
20	屋根(金属材仕上げ)	銅板(平葺き)	60	90	内部床 (内装材仕上げ)	Pタイルクリーン(厚 2×304.8×304.8)	30
21	屋根(内外装仕上げ)	コロニアル葺き	30	91	内部床 (内装材仕上げ)	Pタイルクリーン	30
22	屋根(内外装仕上げ)	コロニアル葺き (RC 下地)	30	92	内部床 (内装材仕上げ)	タイルカーペット (厚 6.5×500×500)	30
23	屋根(内外装仕上げ)	アスファルトシングル葺き	30	93	内部床 (内装材仕上げ)	タイルカーペット(厚 7×500×500)	30
24	屋根(内外装仕上げ)	アスファルトシングル葺き (RC 下地)	30	94	内部床 (内装材仕上げ)	たたみ	30
25	屋根(内外装仕上げ)	塩化ビニール波板	10	95	間仕切り壁 (石材仕上げ)	大理石張り(厚 20)	60
26	屋根(内外装仕上げ)	和瓦(洋瓦)	60	96	間仕切り壁 (石材仕上げ)	テラゾーブロック張り (厚 25、化粧目地)	50

27	外壁(コンクリート材仕上げ)	ALC 板	50	97	間仕切り壁 (石材仕上げ)	テラゾーブロック張り (厚 40、化粧目地)	50
28	外壁(コンクリート材仕上げ)	コンクリートブロック (C 種、厚 100)	60	98	間仕切り壁 (石材仕上げ)	テラゾーブロック張り (厚 30、化粧目地)	50
29	外壁(コンクリート材仕上げ)	コンクリート(打放し)	100	99	間仕切り壁 (タイル仕上げ)	陶器質タイル(目地幅 2)	50
30	外壁(防水材仕上げ)	シーリング	10	100	間仕切り壁 (木材仕上げ)	合板張り (厚 5.5、胴縁杉 24×45×450)	30
31	外壁(石材仕上げ)	花崗岩張り (湿式工法)	60	101	間仕切り壁 (木材仕上げ)	合板張り (厚 6、胴縁杉 24×45×450)	30
32	外壁(石材仕上げ)	花崗岩張り (乾式工法)	60	102	間仕切り壁 (木材仕上げ)	合板張り (厚 6、胴縁杉 24×45×360)	30
33	外壁(石材仕上げ)	鉄平石張り (方形張り)	60	103	間仕切り壁 (木材仕上げ)	杉板張り (厚 12、胴縁杉 24×45×360)	30
34	外壁(タイル仕上げ)	磁器質タイル (圧着工法)	40	104	間仕切り壁 (木材仕上げ)	合板張り (ラワン厚 5.5、胴縁 25×45)	30
35	外壁(タイル仕上げ)	磁器質タイル (打込工法)	60	105	間仕切り壁 (木材仕上げ)	合板張り (ラワン厚 5.5、胴縁 18×45)	30
36	外壁(タイル仕上げ)	磁器質タイル	40	106	間仕切り壁 (左官仕上げ)	モルタル塗り金鍍仕上げ (RC 下地)	30
37	外壁(木材仕上げ)	下見板張り押縁	30	107	間仕切り壁 (左官仕上げ)	モルタル塗り金鍍仕上げ (ラスボード下地)	30
38	外壁(木材仕上げ)	堅羽目板張り	30	108	間仕切り壁 (左官仕上げ)	プaster仕上げ(ラスボード下地)	15
39	外壁(金属材仕上げ)	カラー鉄板(厚 1.0)	15	109	間仕切り壁 (左官仕上げ)	プaster仕上げ(ラスボード下地、 ポリエチレンシート、グラスウール)	15
40	外壁(金属材仕上げ)	アルミパントレル (厚 1.0)	40	110	間仕切り壁 (左官仕上げ)	アクリル系リシン吹付け (ラスボード下地)	60
41	外壁(金属材仕上げ)	フッ素樹脂スパントレル (厚 0.5)	40	111	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	石膏ボード張り+ビニルクロス (厚 12、釘打ち)	30
42	外壁(金属材仕上げ)	ステンレススパントレル (厚 0.4)	60	112	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	石膏ボード張り+ビニルクロス (厚 12、釘打ち、スタイロフォーム)	30
43	外壁(金属材仕上げ)	アルミパネル (厚 1.0)	40	113	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	石膏ボード張り+ビニルクロス (厚 12、釘打ち、ポリエチレンシート、 グラスウール)	30
44	外壁(金属材仕上げ)	ストレストパネル (厚 0.8)	60	114	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	フレキシブルボード張り+ビニルクロス (厚 5、らせん釘打ち)	30
45	外壁(左官材仕上げ)	モルタル塗り刷毛引き 仕上げ(厚 25)	30	115	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	軟質繊維板張り(厚 12)	15
46	外壁(左官材仕上げ)	モルタル塗り刷毛引き 仕上げ(厚 30)	30	116	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	硬質繊維板張り(厚 5)	10
47	外壁(左官材仕上げ)	モルタル塗り刷毛引き 仕上げ(厚 35)	30	117	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	化粧合板(プリント合板)張り (厚 5.5)	30
48	外壁(左官材仕上げ)	モルタル塗りリシンかき 落とし(白セメント)	30	118	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	化粧合板(プリント合板)張り (厚 5)	30
49	外壁(左官材仕上げ)	モルタル塗りリシンかき 落とし	30	119	間仕切り壁 (内装材仕上げ)	化粧合板(プリント合板)張り (厚 3)	30
50	外壁(左官材仕上げ)	ダイヤリシン(厚 25 下地共)	30	120	内部開口部 (木材仕上げ)	木製建具 (872×1720、見込み 30)	30
51	外壁(左官材仕上げ)	スタッコ(荒目仕上げ り、厚 6~8)	30	121	内部開口部 (木材仕上げ)	フラッシュ戸 (750×1800、見込み 40)	30
52	外壁(左官材仕上げ)	アクリルリシン	30	122	内部開口部 (木材仕上げ)	ガラス框戸 (750×1800、見込み 40)	30
53	外壁(左官材仕上げ)	エポキシ吹付けタイル (モルタル下地)	30	123	天井 (木材仕上げ)	合板張り(合板厚 4、釘打ち)	30
54	外壁(左官材仕上げ)	エポキシ吹付けタイル (コンクリート下地)	15	124	天井 (木材仕上げ)	竿縁天井 (杉張り歪厚 3×300×1820)	30
55	外壁(外装材仕上げ)	スレート張り (小波、釘留め)	30	125	天井 (木材仕上げ)	天井板(杉征 3×450×2730)	30
56	外壁(外装材仕上げ)	スレート張り(小波、フ ックボルト留め)	30	126	天井 (金属材仕上げ)	アルミパントレル張り (厚 0.8、幅 120)	60

57	外壁(外装材仕上げ)	珪酸カルシウム板 (厚 6、金属ジョイナー、タッピングねじ留め)	30	127	天井 (金属材仕上げ)	ストレスパネル (厚 0.4、幅 117)	60
58	外壁(外装材仕上げ)	パーライト板 (厚 8、釘留め)	30	128	天井 (左官仕上げ)	吹き付け材	15
59	外壁(外装材仕上げ)	ALC 板パネル (厚 125)	50	129	天井 (内外装材仕上げ)	石膏ボード(ビニールクロス)	30
60	外壁(外装材仕上げ)	木毛セメントパネル D (厚 25)	50	130	天井 (内外装材仕上げ)	フレキシブルボード(厚 4)	30
61	外壁(外装材仕上げ)	サイディング (ナショナルマルチ) (12×455×3030)	40	131	天井 (内外装材仕上げ)	ロックウール吸音板 (厚 9×303×303)	30
62	外壁(外装材仕上げ)	成形セメント板 (厚 60)	60	132	天井 (内外装材仕上げ)	ロックウール吸音板 (厚 12×303×303)	30
63	外壁(外装材仕上げ)	アセロック	30	133	天井 (内外装材仕上げ)	ビニールクロス	30
64	外部開口(木材仕上げ)	引違いガラス窓 (1700×1350)	40	134	天井 (内外装材仕上げ)	バスリブ(軟質塩ビ) (厚 8×100×2000)	30
65	外部開口(木材仕上げ)	フラッシュ戸 (800×2000)	40	135	内部雑 (仕上げユニット)	バスルーム	30
66	外部開口(金属材仕上げ)	アルミサッシ引違い窓 (開口部面積 0.72 ～1.44)	40	136	内部雑 (仕上げユニット)	洗面化粧台	30
67	外部開口(金属材仕上げ)	ステンレス引違い窓 (開口部面積 0.72 ～1.44)	50	137	内部雑 (仕上げユニット)	階段	50
68	外部開口(金属材仕上げ)	スチールフラッシュ戸	30	138	内部雑 (仕上げユニット)	キッチン	30
69	外部開口(金属材仕上げ)	強化ガラスドア (1828×2134)	60	139	内部雑 (仕上げユニット)	トイレ	40
70	外部開口(金属材仕上げ)	スチールシャッター	20				

e001

遮音材料種類	密度(g/cm ³)	kg/m ³
鉄	7.85	7850
鉄筋コンクリート(普通)	2.4	2400
ガラス	2.5	2500
石材	2.6	2600
石綿スレート	1.8	1800
せっこうボード	0.9	900
木毛セメント	0.6	600

f001

材料名	熱伝導比抗	備考	
	(mh°C)/kcal	密度 kg/m ³	規格
軽量気泡コンクリートパネル(ALC パネル)	6.7	600	JIS A 5416
天然木材 2 類	7.7	—	松、ラワン等
銅	0.003	8300	—
アルミニウム合金	0.006	2700	—
鋼材	0.022	7830	—
ロックウール化粧吸音板	20	30	JIS A 6307
ポリスチレンフォーム保温板(押出法)B 類 1 号	29.4	40	JIS A 9511
ポリスチレンフォーム保温板(押出法)B 類 2 号	34.5	30	JIS A 9511
合板	7.1	540	—
せっこうボード	5.3	—	JIS A 6901
せっこうプaster	1.9	—	JIS A 6904

断熱木毛セメント板	11.1	—	JIS A 5404
硬質繊維板	6.7	950	JIS A 5907
畳床	10.5	—	JIS A 5901
タイル	0.9	2400	JIS A 5209
プラスチックタイル	6.3	1500	JIS A 5705
コンクリート	0.71	—	—

f002

	単位
3.67	(kg-CO ₂ /kg)/(kg-C/kg)

g001

材料名	熱伝導率	密度
	kcal/(mh°C)	kg/m ³
普通コンクリート	1.2	2200
モルタル	1.3	2000
石綿スレート	1.03	1500
石こう板、ラスボード	0.15	910
畳	0.13	230
カーペット類	0.16	550

h001

部材名	炭素放出量原単位	単位
ALC 板	0.106	kg-c/kg
粘土瓦	0.05	kg-c/kg
モルタル	169.585	kg-c/m ³

i001

名称		炭素放出量	単位
新地金	cv	10.19	kg-c/kg
再生地金	cr	0.352	kg-c/kg
押し出し工程	cp	0.961	kg-c/kg

i002

名称	重量 kg/ m ³	構成比 (水を除く)	CO ₂ 原単位	CO ₂ 排出量
			kg-C/kg	kg-C/ m ³
砂利・採石	849.14	0.394	0.0015409	1.310
碎石	954.74	0.443	0.0018912	1.810
セメント	351.29	0.163	0.213	74.900
水	146.94	—	—	—
合計	2302.11	1	—	78.020
鋼材	12.5	0.074	—	—

j001

要因	水準計号	仮定条件	収率
再生骨材製造方法	A-type	前処理、粒度調整:破砕工程 1 回【収率 70%】	0.7
	B-type	前処理、原モルタル除去、粒度調整:破砕工程 3 回【収率 30%】	0.3

k001

名称	積み上げ法	
	酒井ら	外岡
セメント	0.218	—
高炉セメント	0.138	—
転炉鋼	—	0.52
電炉鋼	—	0.141

k002

資材名	重量(kg)	比率	1m3 コンクリート当り資材重量(kg)
セメント	27.5	0.163	358.6
砂利	66.7	0.394	866.8
碎石	75	0.443	974.6
コンクリート合計	169.2	1	2200
鋼材	12.5	0.074	162.8

k003

資材名	資材量(kg)	炭素排出量(kg-c/kg)
セメント	351.29	74.895
砂利	849.14	1.308
碎石	954.74	1.806
水	146.94	0
鋼材	159.68	565.718
コンクリート合計	2461.79	134.727
基礎コンクリート		0.0547

m001

材料	熱伝導比抵抗	単位
アルミニウム	0.0049	mhdeg/kcal
花こう岩	0.535	
モルタル	1.07	
木毛セメント板	7.9	
タイル	0.91	
ガラス	1.5	
畳(JIS A 5901)	11	

m003

材料		比重量
名称	分類	kg/ m ³
板ガラス	各種	2540
タイル	JIS A 5209	2400
合板	各種化粧板を含む	550
製材	中量材各種	500
豆砂コンクリート	各種	2200
空気	—	1.3

第3章 独立住宅モデルの形状の変化と建材・工法選択

3-1 研究の背景・目的

筆者のグループは、独立住宅のライフサイクルを通しての環境負荷の低減を目指した建材や工法の選択システムを開発し、それらを用いて環境負荷を軽減する「独立住宅の建材の組合せ」を得る方法の研究をしきた（文献1, 2, 3）ことは先に述べたとおりである。

住宅の面積が一定であっても建物の形状によって建材が用いられる各部位の面積、室容積や日射取得面の面積が異なり、建物の環境負荷が異なってくる。建物の形状に適切な建材の組合せや仕様を見つけだす方法とその結果を知ることが出来れば、環境負荷を軽減させる設計上、有用な方法となる。本章では LCCO₂ と最終廃棄物量、LCC の最小化を目指したときのモデル形状と建材・工法選択の関係を把握することを目的とする。本章では、独立住宅の企画段階から解体除去までのライフサイクルを通して LCCO₂（以下 CO₂ 排出量）、最終廃棄物量、LCC（以下コスト）を評価尺度とし、これらを同時に最小化する多目的問題に遺伝的アルゴリズム(genetic algorithms、以下 GA)を用いて、仮定したモデル形状に対して CO₂ 排出量と最終廃棄物量、コスト等の評価値を最小化する建材・工法選択を提示する。

3-2 研究の方法

まず、建材仕様を固定した在来木造住宅を対象として、標準問題の住宅からモデルの形状を変化させた場合の CO₂ 排出量と廃棄物量、コストの特性を把握する。

次に「建材・工法選択 GA システム」を用いてコスト、CO₂ 排出量、最終廃棄物量の最小化を目的とした GA の試行を行う。仮定した様々なモデル形状での建材・工法の選択の試行を行い、標準問題の住宅モデルでの建材・工法の選択の試行で得られた建材・工法の組合せの解と比較し、モデル形状の変化と建材・工法選択の変化の関係を把握する。

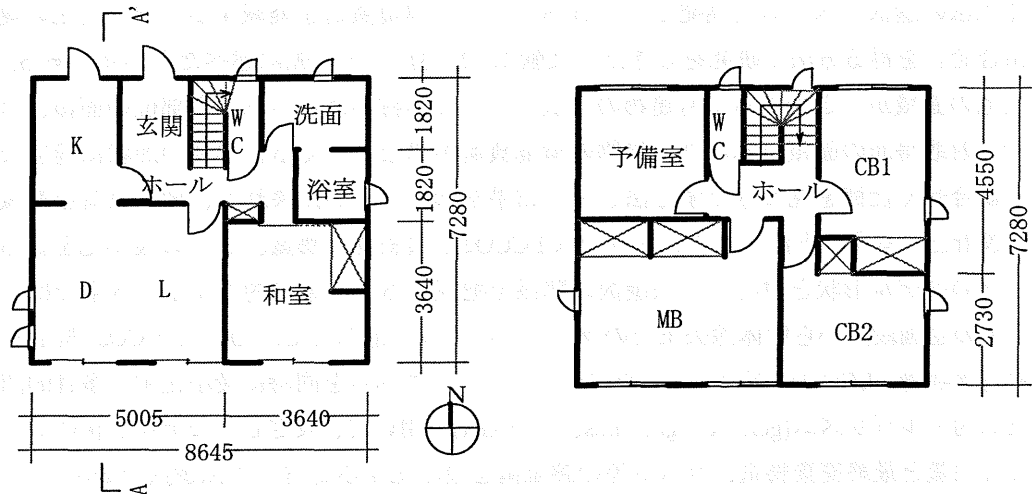
3-3 形状特性の変化と環境負荷

3-3-1 住宅モデルと形状変化

本章では環境工学分野で熱負荷計算等に広く利用されている標準問題の建物モデル（文献 19、図 1）を用いてモデル化を行った。2 階以下の独立住宅で延床面積を一定とする条件で形状が変化するモデルとする。本章では仮定したモデル形状の部位の面積や体積を用いて資材使用量や空調負荷による電力消費量を求め、評価値を算出することで住宅モデルの環境負荷を捉える。そのため、モデル形状の変化は部位の面積や体積といったモデル形状の特性の違いが明確に現れるパラメータを変化させる。モデル形状を変化させる項目として 1 階床面積に対する 2 階の床面積の比（1, 床面積比）、1 階、2 階の東側辺長に対する南側辺長の比（2, 1F 辺長比、3, 2F 辺長比）、4, 1F 階高、5, 2F 階高の 5 項目とする図 2）。

3-3-2 形状変化による CO₂ 排出量、最終廃棄物量、コストの変化

本章では総2階建となる形状モデルを「標準モデル」(図1)と時の標準問題の建物モデルと同等の建材仕様を想定したモデルを「一般的な在来木造住宅」とする。ここでは「一般的な在来木造住宅」について1,~5,の形状が変化した時の3評価値の変化を捉える(図2)。



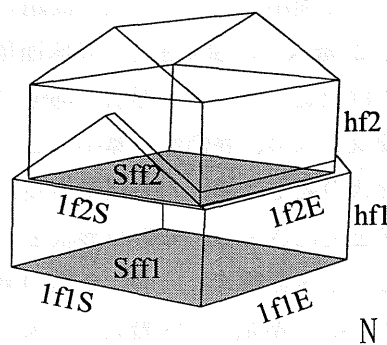
1 階平面図

2 階平面図

A-A 断面図

	室名	床面積(m)
1F	DL	20.49
	K	7.23
	和室	13.25
	その他	21.96
	小計	62.93
2F	MB	20.49
	CB1	11.59
	CB2	11.59
	予備室	10.14
	その他	9.12
	小計	62.93
延床面積		125.86

図1 標準モデル



- 1, 床面積比: $R_f = S_{ff2} / S_{ff1}$
- 2, 1f辺長比: $R_{sf1} = 1f1E / 1f1S$
- 3, 2f辺長比: $R_{sf2} = 1f2E / 1f2S$
- 4, 1f階高: $hf1$
- 5, 2f階高: $hf2$

図2 モデルの形状変化

1) 床面積比のみを変化させたとき

本章では延床面積は一定条件で1階の床面積に対する2階の床面積の比（床面積比）が変化したときの各部位の面積と3評価値の変化を捉える。図3は床面積比を変化させたときの「一般的な在来木造住宅」の建材仕様を想定したモデルでの3評価値の変化を示した。

CO₂排出量、コストは部材使用面積、外接面積が最小となる床面積比1.0（「標準モデル」）のとき最小となっている。最終廃棄物量は床面積比0.0（1階建モデル）のとき最小となっており「標準モデル」と比較して約3%小さくなっている。これは壁の面積の減少による資材使用量が屋根の面積の増加による資材使用量の増加を上回ったためである。CO₂排出量が最大となっている床面積比2.0（モデルA-1）は他のモデルと比較して、空調運転による電力消費量が大きい。床面積比0.0（モデルA-3）は「標準モデル」と比較して電力消費量は約8%増加、資材に総重量は約2%減少して、CO₂排出量は約6%増加している。これらは空調による電力消費量の増加がCO₂排出量の増加に大きく影響を及ぼしていることを示している。コスト、最終廃棄物量が最大となるのは床面積比0.2（モデルA-2）で、コストは約9%、最終廃棄物量は約5%増加している。このとき資材の総重量が最大であり、「標準モデル」と比較すると約5%増加している。床面積比が2.0～0.0で変化したとき「標準モデル」の住宅と比較してCO₂排出量は0%～+13%、コストは0%～+9%、最終廃棄物量は-3%～+5%の幅で変化しており、CO₂排出量、コスト、最終廃棄物量の順に変化の幅が大きくなっている。

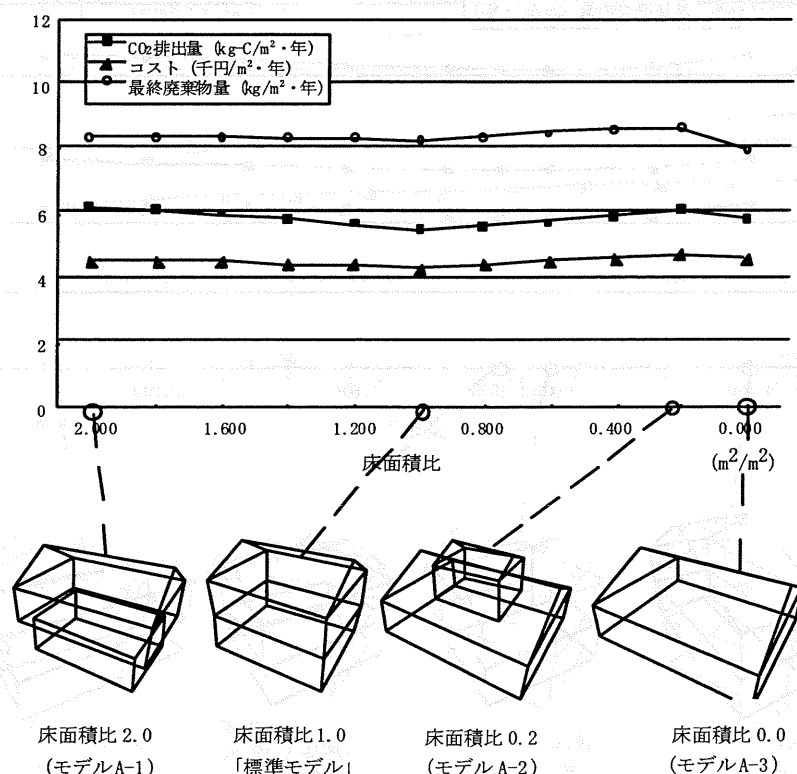


図3 床面積の変化による3評価値の変化

2) 辺長比のみを変化させたとき

東側（西側）の平面辺長に対する南側（北側）の平面辺長の比を辺長比とする。変域は平面の短辺長が最小で5m程度となる2.5～0.4とし、評価値の変化を捉える。

図4は辺長比を変化させたときの「一般的な在来木造住宅」の建材仕様を想定したモデルの3評価値の変化を示したものである。CO₂排出量は辺長比1.1875（「標準モデル」）のとき最小となっている。コスト、最終廃棄物量は辺長比1.0（モデルB-2）のとき最小で「標準モデル」と比較してコストは約0.1%、最終廃棄物量は0.2%だけ減少している。辺長比0.4（モデルB-3）のとき、CO₂排出量、コスト、最終廃棄物量のすべてが最大となっている。CO₂排出量、コスト、最終廃棄物量はそれぞれ約7%、約4%、約5%増加している。

辺長比が2.5～0.4で変化したとき「標準モデル」の住宅と比較してCO₂排出量は0%～+7%、コストは-1%～+4%、最終廃棄物量は-1%～+5%の幅で変化しており、CO₂排出量、コスト、最終廃棄物量の順に変化の幅が大きくなっている。辺長比0.7～1.3の間はCO₂排出量、コスト、最終廃棄物量は1%以下の変化量であり、辺長比1.6のときは最終廃棄物量が約1%の変化量であり、東側（西側）と南側（北側）の辺の長さの比が大きくない場合はそれほど大きく3評価値が変化しないことが分かる。

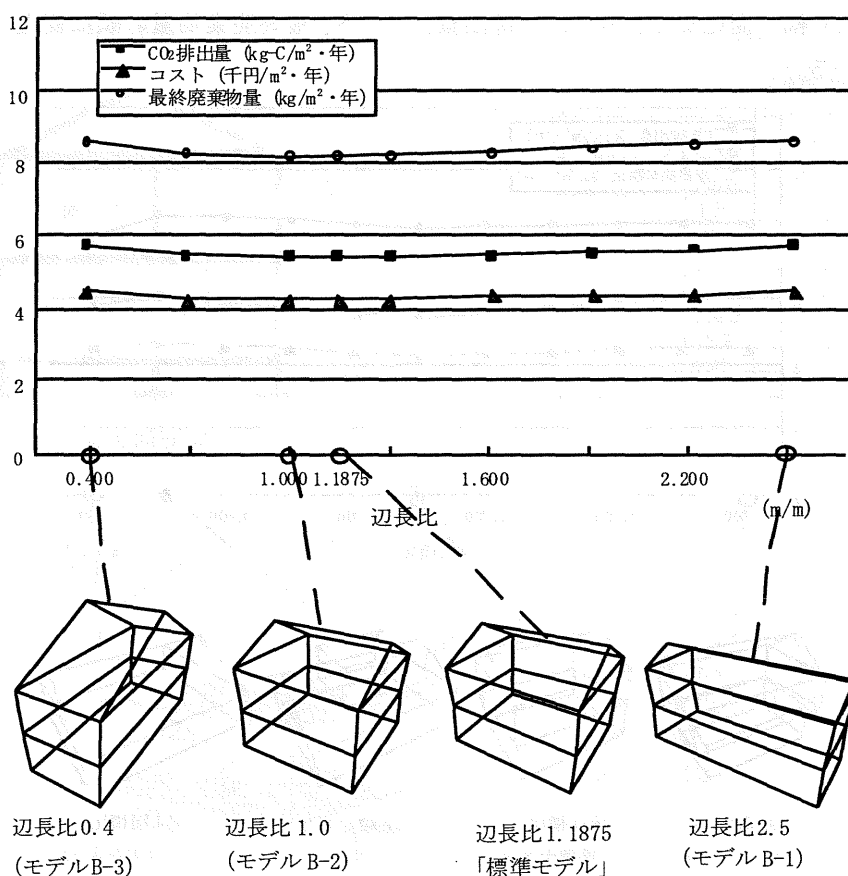


図4 辺長の変化による3評価値の変化

3) 階高のみを変化させたとき

階高は最小高を 2.7m とし、0.1m ずつ高くした場合の 3 評価値の変化を捉える。変域は 2.7m～3.7m とする。

図 5 は階高を変化させたときの「一般的な在来木造住宅」の建材仕様を想定したモデルの 3 評価値の変化を示したものである。CO₂ 排出量、コスト、最終廃棄物量とも階高 2.7m（「標準モデル」）のとき最小となる。階高 3.7m（モデル C-3）のとき「標準モデル」と比較して CO₂ 排出量は約 25%、コストは約 14%、最終廃棄物量は 19%増加している。このとき「標準モデル」と比較して電力消費量は約 18%増加、資材の総重量は約 12%増加している。階高の変化割合に対して、電力消費量の変化割合は徐々に大きくなるが、資材使用量の変化割合は小さくなる。これは階高の変化が電力消費量の変化に影響が大きく、結果として CO₂ 排出量の変化に影響を与えているといえる。階高が 2.7m～3.7m で変化したとき「標準モデル」の住宅と比較して CO₂ 排出量は 0%～+25%、コストは 0%～+14%、最終廃棄物量は 0%～+19%の幅で変化しており、CO₂ 排出量、最終廃棄物量、コストの順に変化の幅が大きくなっている。

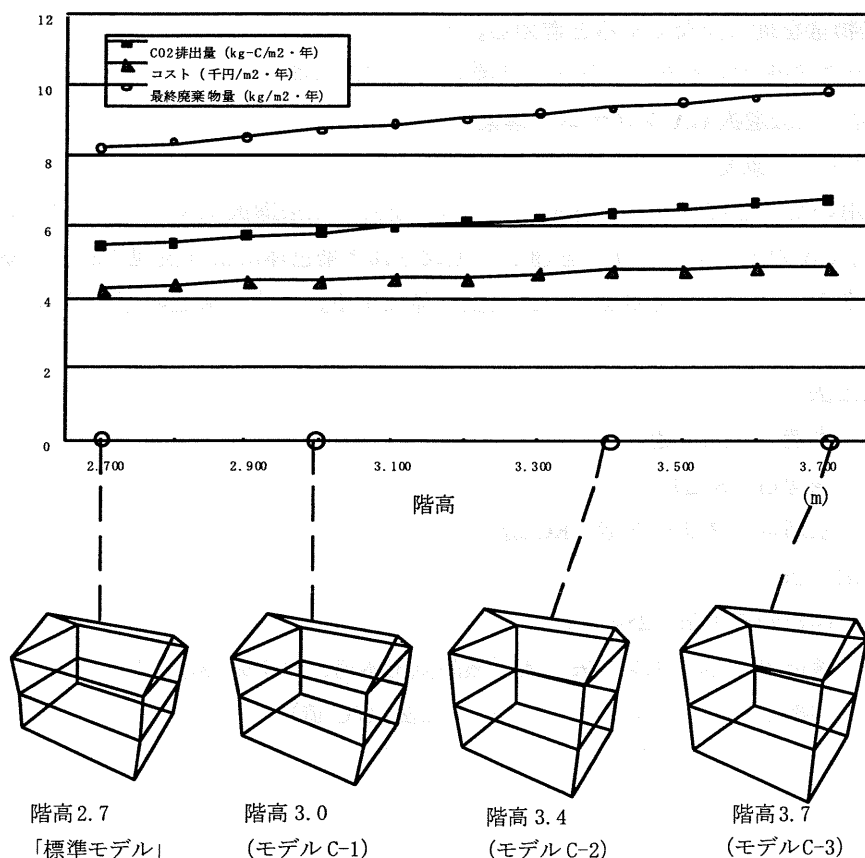


図 5 階高の変化による 3 評価値の変化

これらの関係をまとめると、床面積比が変化するとき「標準モデル」と比較して床面積比 0.0 (モデル A-3) のとき壁面積が最小となり約 29%減少するが、屋根面積は 100%増加するなど、壁面積と屋根面積の間にはトレードオフの関係がある。床面積比が変化するとき CO₂ 排出量、コスト、最終廃棄物量は壁面積と屋根面積のトレードオフの関係で変化することが分かった。辺長比が変化するとき CO₂ 排出量、コスト、最終廃棄物量は部材面積と日射取得量との関係で決定し、東側 (西側) に比べ南側 (北側) 辺長がやや長い形状が CO₂ 排出量、コストを小さくすることが分かった。また、階高が変化するとき空調による電力消費量、資材の総使用量がともに増加し、例えば、階高が 1m 変化した場合は CO₂ 排出量で 25%増加になった。

また、調による電力消費量の増加が CO₂ 排出量の増加に大きく影響を及ぼしていることが分かる。すなわち、外気に接する面積が小さく、東側 (西側) の壁面積が南側 (北側) の壁面積に比べやや小さくなる形状が CO₂ 排出量の低減に有効であり、本章で設定した変域の中では、床面積比 1.0 (総 2 階)、辺長比 1.1875、階高 2.7m となる形状 (「標準モデル」) が相当する。また、最終廃棄物量の変化は壁面積の変化に大きく影響を受けてあり、正方形平面で壁面積の小さい床面積比 0.0 (1 階建)、辺長比 1.0、階高 2.7m となるモデル形状が最終廃棄物量を最も少なくすると言える。

3-4 建材・工法選択 GA システムの構築

3-4-1 システムの概要

GA を用いた「建材・工法の選択システム (建材・工法選択 GA システム)」の概要を示す (図 6)。GA のオペレーションを通して生成された染色体により表現された建築モデルに対して、各データベースを参照して評価値を算出する。工法・構造の形式は以下の 6 種類とした。

在来工法

- ・木造 (在来木造)
- ・鉄骨造 (S 造)
- ・鉄筋コンクリート造 (RC 造)

工業化工法

- ・枠組壁式工法 (2×4 木造)
- ・構造用断熱パネル工法 (高断熱高気密木造、以下断熱木造)
- ・壁式プレキャストコンクリート工法 (PC 造)

3-4-2 住宅のモデル化

本章では「建築物は各部材毎に建材選択が行われた総体である」という考えに基づきモデル化を行っている。1階、2階は別のものと考えて分解し、設備や階段等は省略した（図7）。

3-4-3 モデルの計算条件

本章では、立地環境や耐久性等の条件は以下のように仮定した。

建設地：東京（外気温や日射などの気象条件を使用）

資材・部材の工場からの輸送距離：100km

建築廃材の廃棄物処理場までの輸送距離：50km

空調条件：12時間全室空調

3-4-4 モデルのコード化

建築物を各部材に分解し、各部材を遺伝子情報化する。染色体は各部位の仕様情報、部材厚等の仕様2次情報、再利用情報を表す遺伝子の配列からなり、遺伝子情報数は80、ビット数は229となる。部材厚、窓面積割合、再生資材使用割合、再生処理割合は設定した変域を8段階に分けた。また、部材間の様々な制約を記述し、不適切な組合せをもつ染色体を致死解として排除した（表1）。

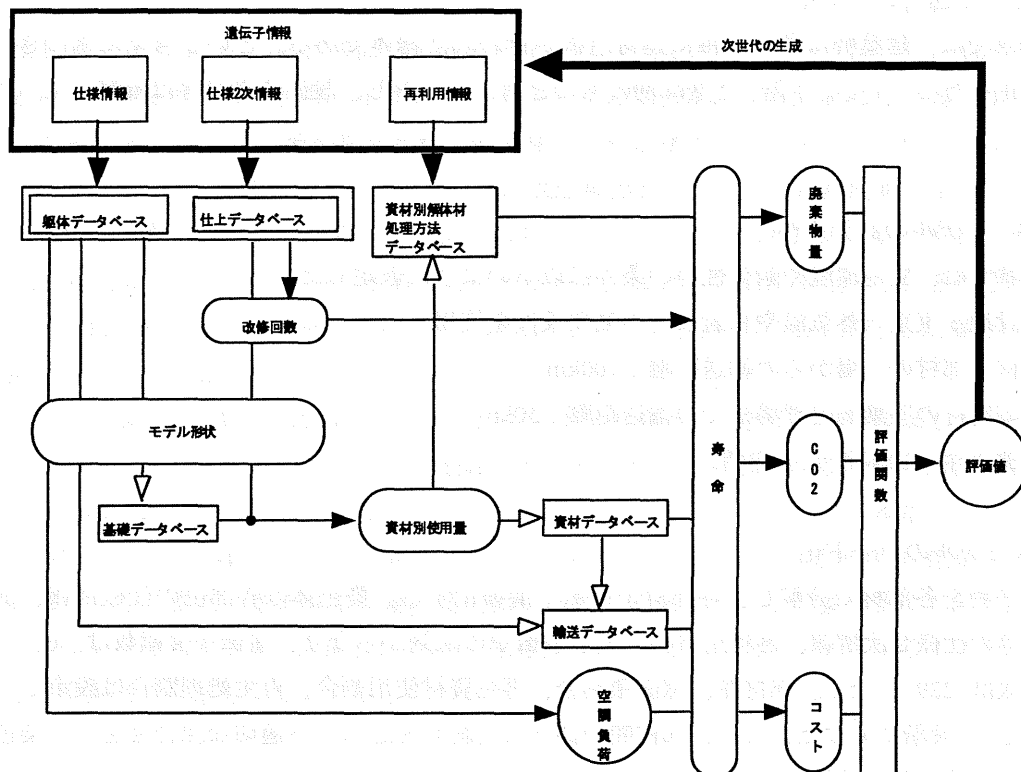


図6 評価システムフロー

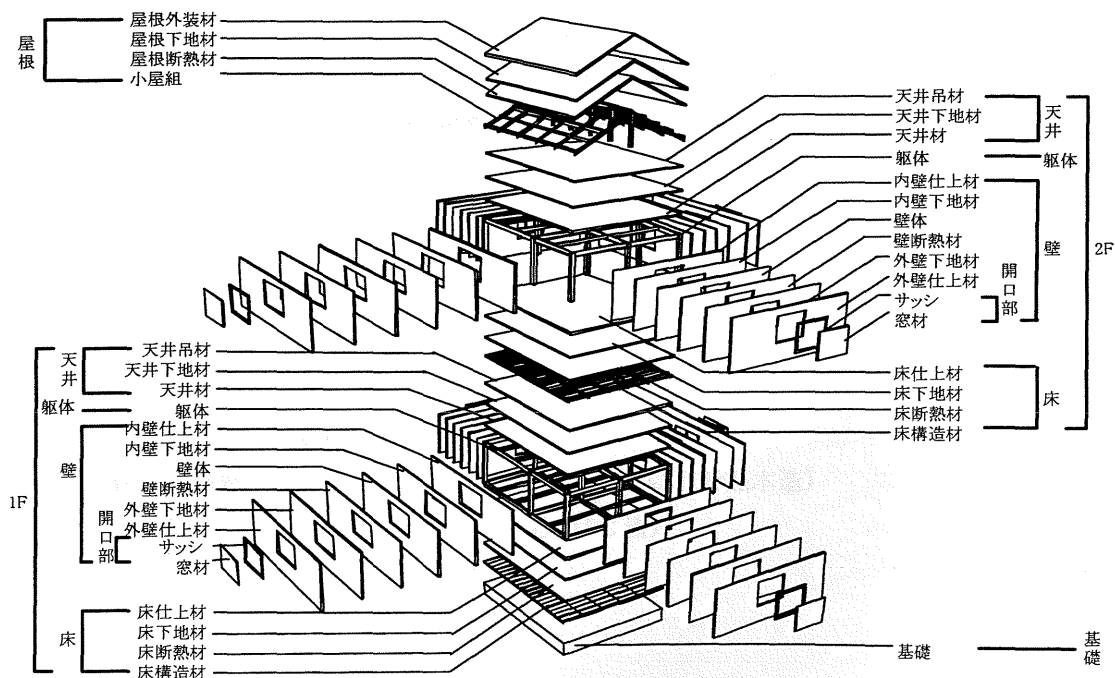


図7 部位と部材の構成

表1 遺伝子へのコード化

遺伝子総数：73

	部位名	部材名	建材 遺伝ビット		部材2次情報	遺伝ビット		
			種類	子名 数		子名 数		
1F	躯体	躯体	6	Af1	3			
	壁	壁体	3	Bf1	2	厚	bf1	3
		外壁仕上	13	B1f1	4	厚	b1f1	3
		外壁下地	8	B2f1	3	厚	b2f1	3
		壁断熱材	3	B3f1	2	厚	b3f1	3
		内壁下地	8	B4f1	3	厚	b4f1	3
		内壁仕上	10	B5f1	4	厚	b5f1	3
	開口部	窓仕様	2	Cf1	1	窓面積割合	cf1	3
		サッシ	3	C1f1	2			
	床	床構造体	7	Ef1	3			
		床仕上	9	E1f1	4	厚	e1f1	3
		床下地	5	E2f1	2	厚	e2f1	3
		床断熱	3	E3f1	2	厚	e3f1	3
	天井	天井吊材	3	Ff1	2			
		天井仕上	9	F1f1	2	厚	f1f1	3
		天井下地	8	F2f1	4	厚	f2f1	3
2F	躯体	躯体	6	Af2	3			
	壁	壁体	3	Bf2	3	厚	bf2	3
		外壁仕上	13	B1f2	2	厚	b1f2	3
		外壁下地	8	B2f2	4	厚	b2f2	3
		壁断熱材	3	B3f2	3	厚	b3f2	3
		内壁下地	8	B4f2	2	厚	b4f2	3
		内壁仕上	10	B5f2	3	厚	b5f2	3
	開口部	窓仕様	2	Cf2	4	窓面積割合	cf2	3
		サッシ	3	C1f2	1			
	床	床構造体	7	Ef2	2			
		床仕上	9	E1f2	3	厚	e1f2	3
		床下地	5	E2f2	4	厚	e2f2	3
		床断熱	3	E3f2	2	厚	e3f2	3
	天井	天井吊材	3	Ff2	2			
		天井仕上	9	f2f2	2	厚	f1f2	3
		天井下地	8	F2f2	4	厚	f2f2	3
屋根	屋根	小屋組	6	G	3			
		屋根外装材	12	G1	3	厚	g1	3
		屋根下地	3	G2	4	厚	g2	3
		屋根断熱材	3	G3	2	厚	g3	3

再生材使用情報		種類	遺伝ビット	
			子名	数
再生粗骨材割合			k1	3
高炉セメント割合			k2	3
電炉鋼割合			l	3
アルミ再生地金割合			m	3

再生処理割合		種類	遺伝ビット	
			子名	数
コンクリート再生処理割合		3	R	2
木材再生処理割合			S	3
燃料用チップ割合			S1	3
鉄再生処理割合			T	3
アルミ再生処理割合			U	3
銅再生処理割合			V	3

3-5 建材・工法選択 GA システムの試行

3-5-1 「標準モデル」における試行

建材・工法選択 GA システムによる試行を、汎用プログラム GENESIS を改良して行った。本章では、Goldberg のランキング法にパレート保存戦略を加えた GA (文献 33) により解の探索を行った。ランキング法は制約法に較べて優秀な解とその周辺に存在する優秀な解の探索に優れているのでパレート最適集合を見出すのに用いた。まず、「標準モデル」について試行を行った。「次世代省エネルギー基準」(以下「次世代基準」(文献 22))として表 2 のように設定した在来木造住宅モデルを想定し、その 3 評価値よりも小さい評価値となる建材・工法の組合せの発見を行った。

表 2 「次世代省エネルギー基準」による断熱材仕様

	屋根・天井	外壁	床	窓
断熱材厚(m)	0.210	0.115	0.115	複層

個体数: 500、突然変異率: 0.1 としたときのパレート最適個体のうち「次世代基準」(CO_2 排出量: $4.184[\text{kg-C/m}^2 \cdot \text{年}]$ 、コスト: $3.993[\text{千円/m}^2 \cdot \text{年}]$ 、最終廃棄物量 $8.491[\text{kg/m}^2 \cdot \text{年}]$) を満たす建材・工法の組合せの解を各躯体別にプロットしたものである。選択された 1 階躯体は在来木造、S 造、2×4 木造、PC 造が選択されており、2 階躯体は在来木造、S 造、2×4 木造、PC 造、断熱木造が選択されている。組合せの解の分布からコスト低減には PC 造が優位であり、最終廃棄物量低減には在来木造、2×4 木造が優位であることがわかる。また、S 造は 3 つの評価値のバランスの良さでパレート最適個体として存在しており、3 つの評価値を同時に低減する躯体であることがわかる。PC 造または S 造は木造の躯体 (2×4 木造、断熱木造、在来木造) と組合せることで CO_2 排出量が小さくなっている。1 階躯体の評価値に対する特徴によって集合を形成し、さらにそれらの集合それぞれの中で 2 階躯体により集合が形成されており、躯体の組合せで 3 評価値のバランスが決定し、パレート最適解として存在していることがわかる。

3-5-2 形状変化モデルにおける試行

次に、仮定したモデル形状に対して試行を行い、3-4-1 で得られた建材・工法の組合せと比較して検討を行う。

1) 床面積比を変化させたとき

2 階の床面積は 1 階の床面積より小さいものとし、床面積比は 1.0~0 の変域を想定した。「標準モデル」(床面積比 1.0) と 3-2-2 で用いたモデル A-2 (床面積比 0.2)、モデル A-3 (床面積比 0) のそれぞれに対して建材・工法選択を行った。図 8-2、図 8-3 は図 8-1 と同様にパレート最適個体のうち「次世代基準」を満たす解を各躯体別にプロットしたものである。

「標準モデル」のとき CO_2 排出量が小さい 1 階 PC 造の組合せのうちコンクリート再生

処理が「なし」となる集合（図 8-1.a 点線内）は、1 階の床面積が増加するに従ってコンクリートの資材使用量が増加するため、最終廃棄物量が「次世代基準」の廃棄物量より大きくなり、モデル A-2、モデル A-3 では存在していない。「標準モデル」で CO₂ 排出量の削減に有効であった 1 階 PC 造は 1 階の床面積が増加すると、より最終廃棄物量を増加させることがわかる。

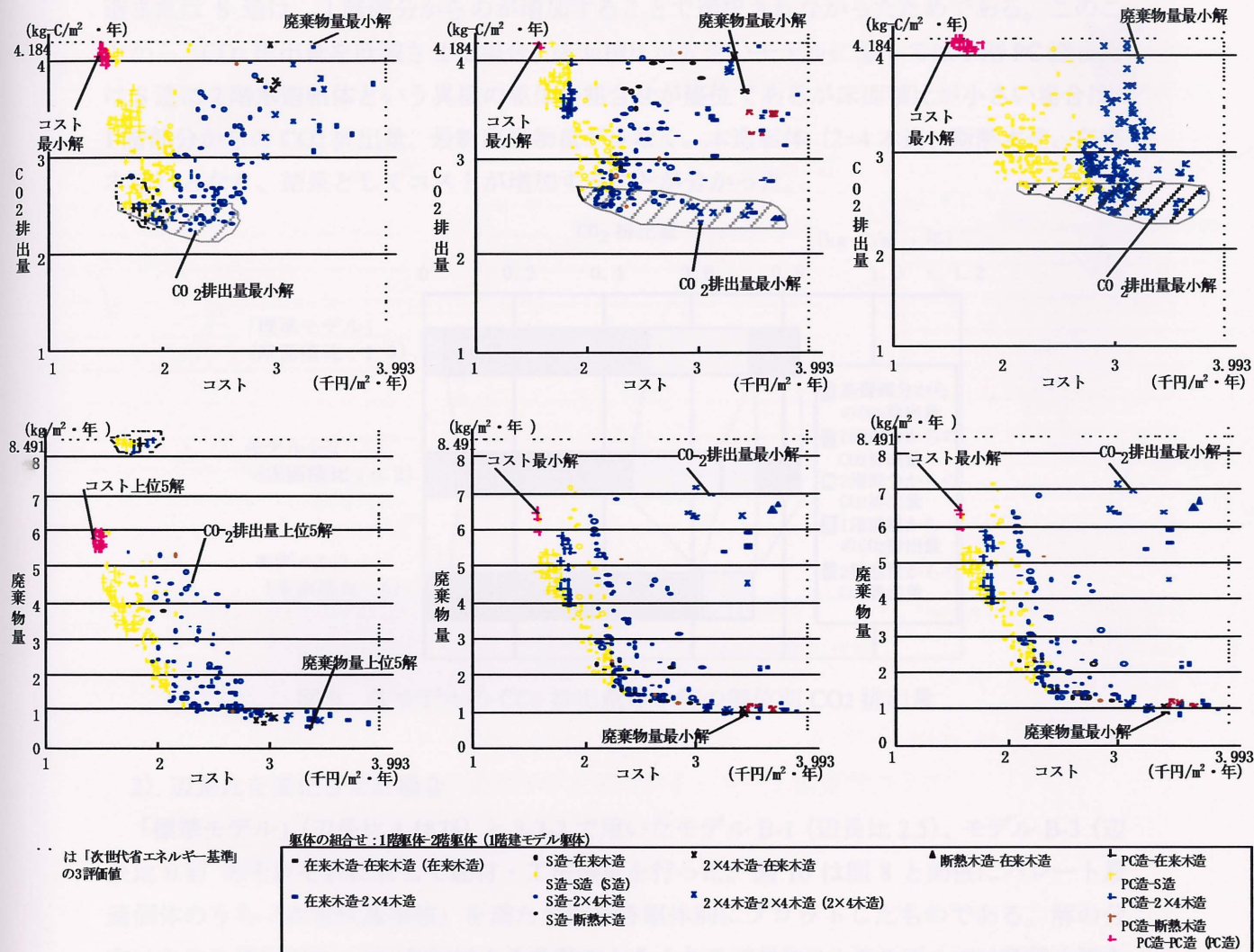


図 9 は各モデルにおける CO₂ 排出量最小解の部位別 CO₂ 排出量である。「標準モデル」における CO₂ 排出量最小解の躯体は 1 階 S 造、2 階 2×4 木造で 1 階部分からの CO₂ 排出量は大きい。これは寿命の長い 1 階躯体に、CO₂ 排出量が少ない 2 階の躯体の組合せることにより、全体として年あたりの CO₂ 排出量が小さくなるためである。しかし、モデル A-2、モデル A-3 では 1 階 2×4 木造が選択されており、1 階部分からの CO₂ 排出量が減少している。これは 1 階の床面積が大きいいため、1 階の躯体に最終廃棄物量や CO₂ 排出量が多い PC 造または S 造は、1 階部分からのが増加することで選択されなかったためである。このことから、CO₂ 排出量を低減させる場合、床面積比が大きいモデルに関しては 1 階 PC 造または S 造に 2 階木造躯体という異種の躯体の組合せが優位であるが床面積比が小さい場合は、1 階部分からの CO₂ 排出量、最終廃棄物量が少なく、木造躯体（2×4 木造、断熱木造、在来木造）となり、結果としてコストが増加することが分かった。

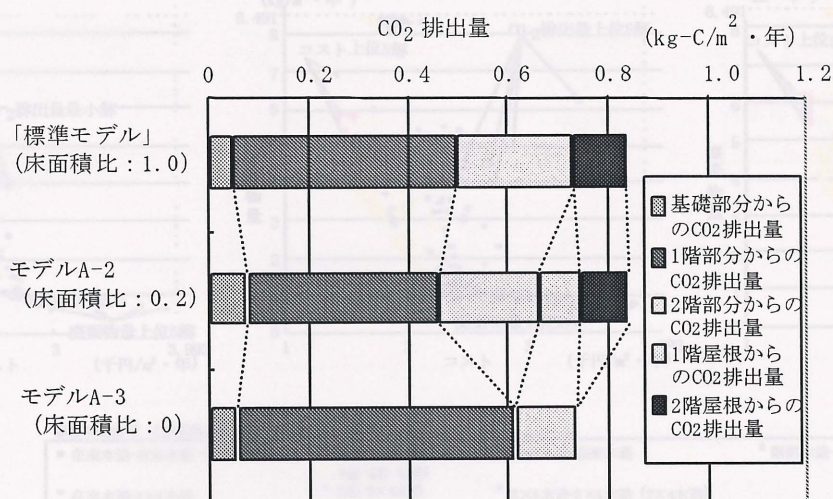
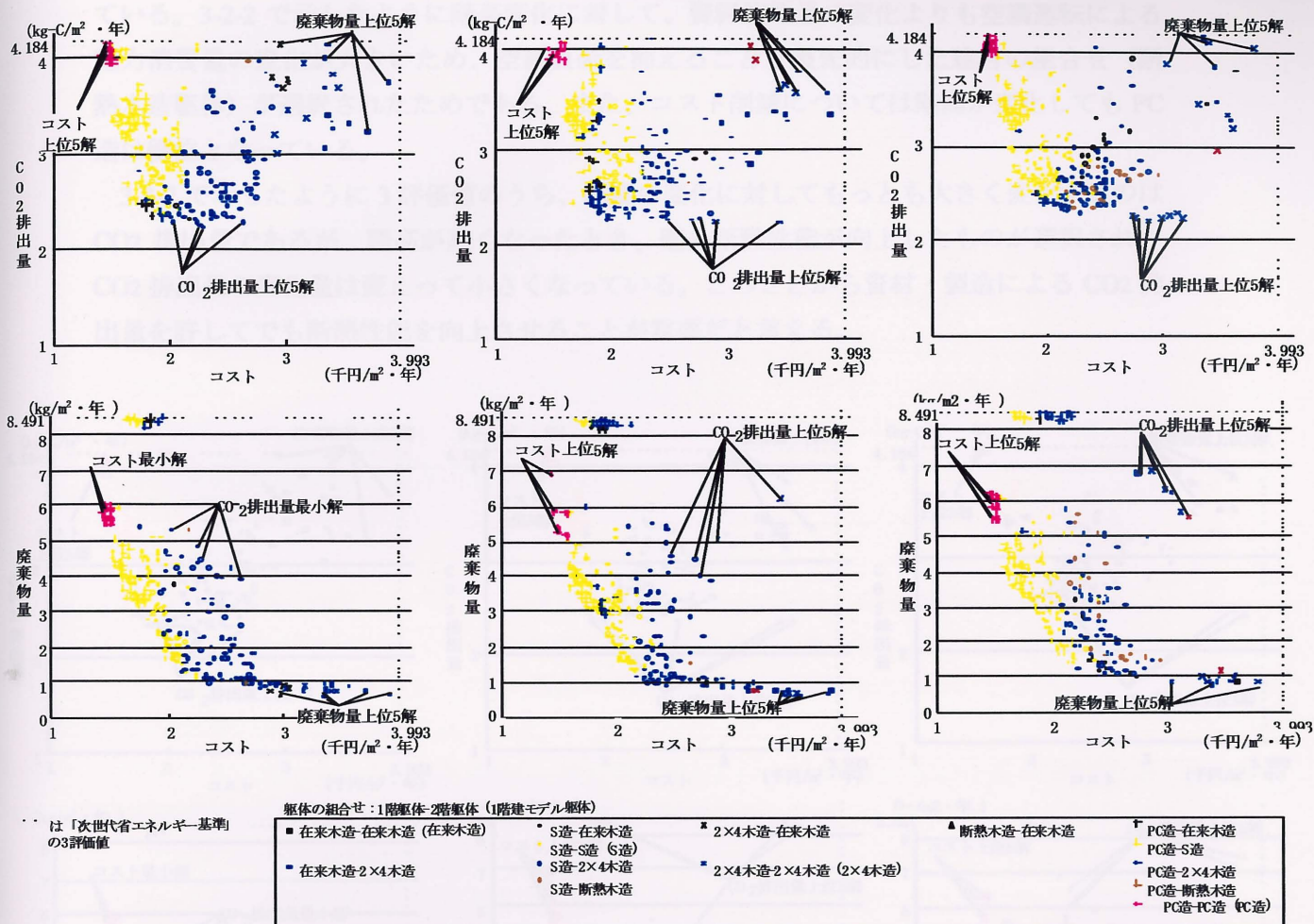


図 9 各モデルの CO₂ 排出量最小解の部位別 CO₂ 排出量

2) 辺長比を変化させた場合

「標準モデル」(辺長比 1.1875) と 3-2-2 で用いたモデル B-1 (辺長比 2.5)、モデル B-3 (辺長比 0.4) のそれぞれに対して建材・工法選択を行った。図 10 は図 8 と同様にパレート最適個体のうち「次世代基準値」を満たす解を各躯体別にプロットしたものである。解の分布はあまり変化がないが、日射による負荷の大きくなる辺長比 0.4 のモデルでは断熱木造を含む躯体が多くなっている特徴がある。3-3-2 で得られた結果と同様に、辺長比が変化したとき 3 評価値は大きく変化せず、「標準モデル」と同等の 3 評価値を持つパレート最適個体が得られた。

各モデルにおけるパレート最適個体のうち、CO₂ 排出量、コスト、最終廃棄物量のそれぞれについて小さくなる上位 5 解を図中に示したが、すべてのモデルにおいて CO₂ 排出量の低減には 2×4 木造が優位であり、コスト削減には PC 造が優位である。最終廃棄物量低減については 2×4 木造、在来木造の組合せが選択されている。



左: 図 10-1 辺長比: 1.0 (「標準モデル」) 中: 図 10-2 辺長比: 2.5 (モデル B-1) 右: 図 10-3 辺長比: 0.4 (モデル B-3)

図 10 辺長比の変化モデルにおけるパレート最適解の分布

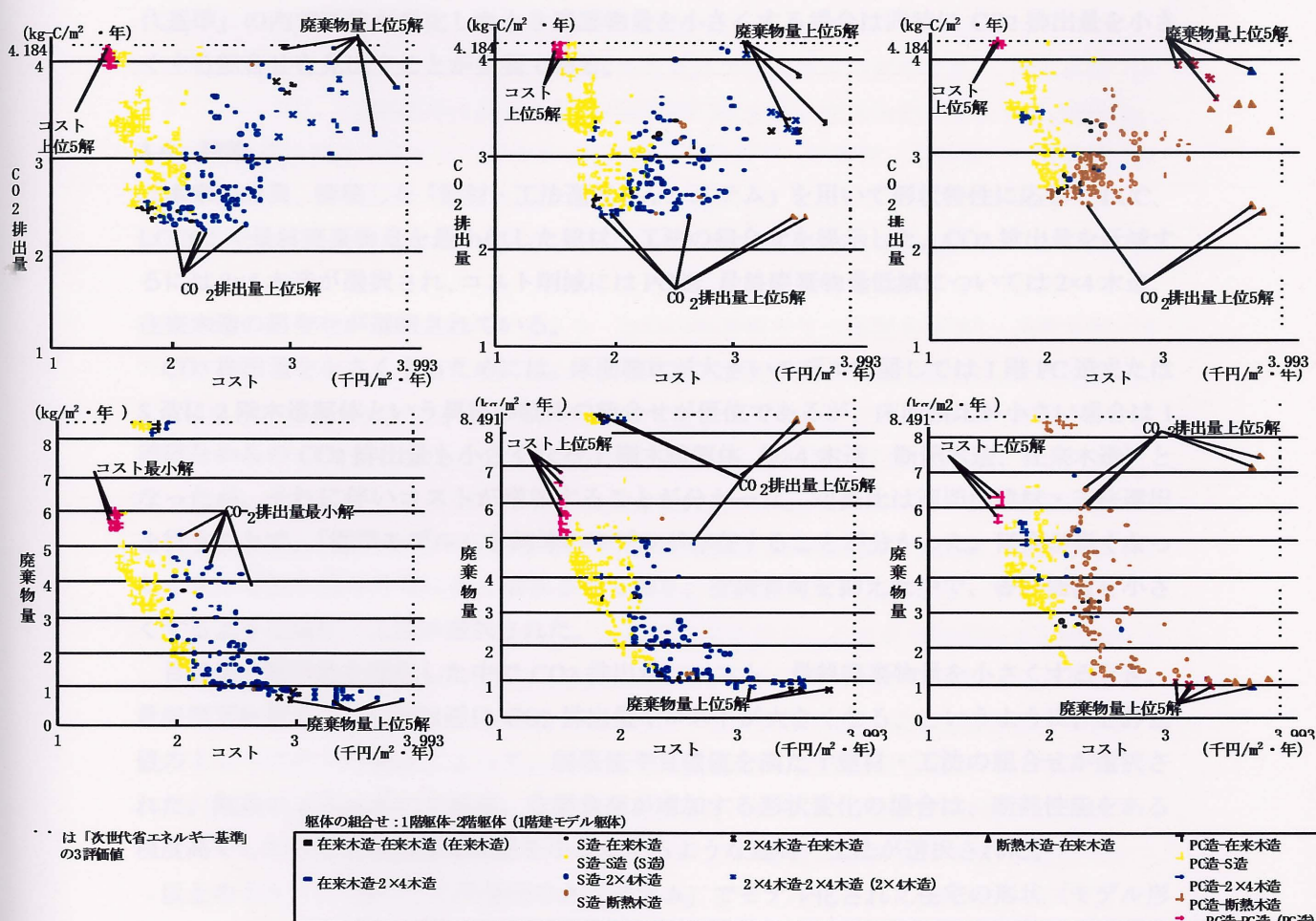
3) 階高を変化させた場合

「標準モデル」(階高 2.7m)、モデル C-1 (階高 3.0m)、モデル C-2 (階高 3.4m) となるモデルのそれぞれに対して建材・工法選択を行った。図 11 は図 8 と同様にパレート最適個体のうち「次世代基準値」を満たす解を各躯体別にプロットしたものである。階高が高くなるに従って空調負荷が大きくなるために断熱木造躯体を含む組合せが増えている。特にモデル C-2 (階高 3.4m) では非常に多くの組合せが断熱木造を含んでいる。CO₂ 排出量最小解も 1 階、2 階とも断熱木造となっている。

各モデルにおけるパレート最適個体のうち、CO₂ 排出量、コスト、廃棄物量のそれぞれについて小さくなる上位 5 解を図中に示したが、階高が高くなるに従って CO₂ 排出量を低減するには断熱木造が有効であり、最終廃棄物量低減についても階高が高くなるに従って

断熱木造を含む組合せから選択されている。モデル C-1、モデル C-2 の CO₂ 排出量最小解の CO₂ 排出量は 3-3-2 で得られた「一般的な在来木造住宅」の変化量と比較して小さくなっている。3-2-2 で示したように階高変化に対して、資材使用量の変化よりも空調運転による電力消費量の変化が大きいため、空調負荷を抑えることを優先的にした建材の組合せ（断熱木造躯体）が選択されたためである。また、コスト削減については階高が変化しても PC 造は優位となっている。

3-3-2 で示したように 3 評価値のうち、階高の変化に対してもっとも大きく変化するのは CO₂ 排出量であるが、階高が高くなったとき、壁の断熱性能が向上したものが選択され、CO₂ 排出量の変化量は変えて小さくなっている。このことから資材・製造による CO₂ 排出量を許してでも断熱性能を向上させることが重要だと言える。



3-5-3 考察

以上、仮定した様々なモデル形状について建材・工法選択を行い、「次世代基準」を満たす解を躯体別の集合として捉えた。

すべてのモデルで CO₂ 排出量を低減するには 2×4 木造が優位であるが、形状の違いにより PC 造や S 造、断熱木造などと組合せた解が選択されている。

すべてのモデルにおいてコスト削減には PC 造が優位となっているが、コストの大部分は施工によるものであり、これは形状が変化しても大きな変化はないためである。

最終廃棄物量低減には 2×4 木造、在来木造の組合せが選択されているが、最終廃棄物量が小さい解は逆に CO₂ 排出量やコストが大きくなっており、形状が変化したとき「次世代省エネルギー基準」の CO₂ 排出量やコストを越えない中で、最終廃棄物量の小さい組合せが示されている。最終廃棄物量と CO₂ 排出量とは強いトレードオフにあることから「次世代基準」の内で形状が変化したとき廃棄物量を小さくする場合は同時に CO₂ 排出量を小さくする組合せを見出すことが重要である。

3-6 結論

本章の結果、構築した「建材・工法選択 GA システム」を用いて形状特性に応じて LCC、LCCO₂ や最終廃棄物量を最小化した建材・工法の組合せを提示した。CO₂ 排出量を低減するには 2×4 木造が選択され、コスト削減には PC 造、最終廃棄物量低減については 2×4 木造、在来木造の組合せが選択されている。

CO₂ 排出量を小さくするためには、床面積比が大きいモデルに関しては 1 階 PC 造または S 造に 2 階木造躯体という異種の躯体の組合せが優位であるが、床面積比が小さい場合は 1 階部分からの CO₂ 排出量も小さくなる 1 階木造躯体 (2×4 木造、断熱木造、在来木造) となったが、それに伴いコストが増加することが分かった。辺長比は適切な建材・工法選択を行うことで、「標準モデル」と同等のモデルが存在することが分かった。階高が高くなったときは断熱木造が非常に多く選択されており、空調負荷を抑えた中で、各評価値を小さくするような建材・工法が選択された。

目標値や制限値を設定した中で CO₂ 排出量、コスト、最終廃棄物量を小さくするとき、最終廃棄物量の小さい解は逆に CO₂ 排出量やコストが大きくなる、というように、各評価値のトレードオフの関係によって、制限値や目標値を満たす建材・工法の組合せが選択された。階高のように資材使用量、空調負荷が増加する形状変化の場合は、断熱性能をある程度高くしたうえで最終廃棄物量を小さくするような建材・工法が選択された。

以上のように、「建材・工法選択 GA システム」でモデル化された住宅の形状 (モデル形状) に応じて、LCC、LCCO₂ や最終廃棄物量を減少させる建材・工法の組合せをパレート最適解として示すことが出来た。これらからトレードオフとして選択的に優秀な解を選ぶことが出来る。また、モデル形状の変化に対する建材・工法選択の変化を把握し、様々なモデル形状に応じた環境負荷低減に有効な建材・工法の組合せを示すことが出来た。

参考文献

- 1) 弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、高野俊吾、「独立住宅の建材選択に伴う LCCO₂,LCC、最終廃棄物量低減の多目的問題」、日本建築学会計画系論文集、第 524 号、1999.10
- 2) 宗本順三、銚井修一、張本和芳、吉田 哲、高野俊吾、「独立住宅モデルでの建材選択における LCCO₂、LCC、最終廃棄物量低減の多目的問題—その 2「標準問題」の独立住宅モデルでの G A を用いた工法、建材選択システムの研究—」、日本建築学会計画系論文集、第 551 号、pp.85-92、2002.1
- 3) 高野俊吾、「LCCO₂、LCC、最終廃棄物量の最小化を目指した独立住宅モデルの形状特性と建材・工法選択の研究」、京都大学大学院工学研究科修士論文、2000.2
- 4) 玄昌澤、金文漢、「AHP および LCC 概念を利用した最適案選定システムの開発—設備システムの選定を中心に—」、日本建築学会計画系論文集、第 469 号、pp.149-156、1995.3
- 5) 高草木明、「賃貸事務所建物経営の収支計画に対応したライフサイクルコストに関する研究」、日本建築学会計画系論文集、第 496 号、pp.145-152、1997.6
- 6) 酒井寛二、漆崎昇、相賀洋、下山真人、「建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量とその抑制方策に関する研究」、日本建築学会計画系論文集、第 484 号、pp.105-112、1996.6
- 7) 岡建雄、「産業連関表による建築物の評価 その 1. 省エネルギービルと一般事務所ビルの比較」、日本建築学会計画系論文集、第 359 号、pp.17-23、1986.1
- 8) 竹林芳久、「産業連関表による建築物の評価 その 2. 事務所建築建設による環境への影響」、日本建築学会計画系論文集、第 431 号、pp.31-38、1992.1
- 9) 鈴木道哉、岡建雄、岡田圭史、矢野謙禎、「産業連関表による建築物の評価、その 4. 事務所ビルの建設・運用に関わるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量」、日本建築学会計画系論文集、第 476 号、pp.37-43、1995.10
- 10) 鈴木道哉、岡建雄、岡田圭史、「産業連関表による建築物の評価 その 3.住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量」、日本建築学会計画系論文集、第 463 号、pp.75-82、1994.9
- 11) 酒井寛二、「建築が地球環境に与える影響-建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定-」、日本建築学会、建築と地球環境特別研究委員会、pp.22、1992.6
- 12) 有馬孝礼、「建築が地球環境に与える影響-住宅への資源、エネルギー投入による CO₂ 放出と木材による炭素 C ストック-」、日本建築学会、建築と地球環境特別研究委員会、pp.19、1992.6
- 13) 紅谷裕、菊池雅史、渡部護弥、大島正明、「住宅解体副産物の発生量等に関する調査・研究 その 3 発生量原単位、かさ比重について」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道)、材料施工、pp.815-816、1995.8
- 14) 伊香賀俊治、外岡豊、「建築設備の建物用途別ライフサイクル環境負荷原単位」日本建築学会計画系論文集、第 533 号、pp.51-58、2000.7

- 15) 伊香賀俊治、村上周三、加藤信介、白石靖幸、「我が国の建築関連 CO₂ 排出量の 2050 年までの予測—建築・都市の環境負荷評価に関する研究—」、日本建築学会計画系論文集、第 535 号、pp.53-58、2000.9
- 16) 小松幸夫、遠藤和義、「戸建住宅のライフサイクルコストの推計」、日本建築学会計画系論文集、第 534 号、pp.241-246、2000.8
- 17) 高野俊吾、弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、「環境負荷低減を評価基準とした住宅建材の構成選択システムへの GA 適用の研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、環境工学 I、pp.889-890、1998.9
- 18) 弥田俊男、宗本順三、吉田 哲、高野俊吾、「環境負荷低減を評価基準とした住宅建材の構成選択システムへの GA 適用の研究」、日本建築学会第 21 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、pp.391-396、1998.12

■モデルの条件、分解の方法は下記の文献を参照。

- 19) 宇田川光弘、「標準問題の提案 住宅用標準問題」、日本建築学会環境工学委員会 熱分科会 第 15 回 熱シンポジウム
- 20) 「構造用教材」、日本建築学会、1985.4
- 21) 「建築材料用教材」、日本建築学会、1998.4

■空調計算式は以下の文献を参照。

- 22) 「省エネルギーハンドブック 1993」、監修/建設省住宅局住宅生産課、住宅局建築指導課他、1992.12

■データベースに引用した数値は下記の文献を参照。

- 23) 「ライフサイクル CO₂ で建物を測る」、日本建築学会、地球環境委員会、ライフサイクル小委員会、1996.2
- 24) 「建築・地球環境・地球環境の在り方」、日本建築学会、日本建築学会地球環境特別研究委員会、1995.3
- 25) 「建築のライフサイクルエネルギー算出プログラムマニュアル、建築研究資料 No.91」、建設省建築研究所、小玉祐一郎他、1997.12
- 26) 漆崎昇、酒井寛二、岡本英靖、「建設資材製造時の炭素排出量原単位調査（電力、セメント、アルミニウム、鉄鋼）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、環境工学、pp.629-630、1993.9
- 27) 野城智也、室井俊一、中村幹、「アルミサッシに関わる資源消費・環境負荷に関する考察」、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、建築計画、pp.879-880、1994.9
- 28) 「積算ポケット手帳 1999 後期編」、建築資料研究社、1999.6
- 29) 「建築設計資料集成 1 環境」、日本建築学会、丸善、1978.6

- 30) 「建築が地球環境に与える影響」、日本建築学会、建築と地球環境特別研究委員会、1992.6
- 31) 「新建築学大系 49、維持管理」、彰国社、1983.1
- 32) 「増補版 建築設計資料集成 設備計画編」、日本建築学会、丸善、1977.11
- 33) 「建物の LCA 指針」、日本建築学会、地球環境委員会、LCA 指針策定小委員会、1998.11
- 34) 「標準工事歩掛要覧 改訂版」、工事歩掛研究会編、経済調査会出版部、1983.5

■遺伝的アルゴリズムに関しては下記の文献を参照。

- 34) 北野宏明編、「遺伝的アルゴリズム 2」、産業図書、1995

4-1 Background and Purpose

CO₂ emission and other environmental load continue to increase every year, due to industries in advanced countries and rapid urbanization in developing countries. Under such consideration, it demands both urban planning and buildings to develop hardware and software technology which can reduce environmental loads. CO₂ emission from building occupies about 23%¹⁾ in all industries, and construction and demolition waste accounts for 20% of all industrial wastes, and it accounts for more than 70% of all illegal dumping²⁾ in Japan. And, percentage of CO₂ emission from houses is more than other kinds of buildings³⁾. Therefore, decreasing environmental loads from houses will be effective to reduce that of building construction, and especially detached houses occupy most portions of houses, so, decreasing environmental loads from each detached house will be most effective to total loads from houses.

On the other hand, lots of researchers have made efforts to apply ways of construction methods or materials reducing LCCO₂, LCC or LCW. In fact, LCCO₂, LCC and LCW are depended on building shapes, materials and construction methods, etc. Furthermore, building shape is determinant of amount of materials and volume size. Consequently, shape is the most important factor for reducing LCCO₂, LCC and LCW. This is the reason why we proposed a simple cube as a model for shape study of detached house reducing LCCO₂, LCW and LCC.

4-2 Current Studies

There are papers on LCC and LCCO₂ as follows: Ishizuka (1985)⁴⁾, Hyun et al. (1995)⁵⁾, Takakusagi (1997)⁶⁾, Sakai et al. (1996)⁷⁾. They studied existing building for calculating or searching the way to reduce LCC or LCCO₂ rationally.

There are researches in which relationship of traditional housing shape and solar and climate was made clear by K. Kimura, et al. (1993)⁸⁾, and, on collective housing shape, influence of shape on cost of building elements was made clear by I. Tsukagoshi, et al. (1968)⁹⁾, and cost according to exterior wall and roof shape in multi-storied office building was made clear by F. Shima, et al. (1968)¹⁰⁾. We have developed a system for selecting building materials and construction method with GA, and have found combinations of materials and construction method which reduce LCCO₂, LCC, and LCW from detached house (Yada et al. 1999)¹¹⁾, (Yada et al. 1998)¹²⁾, (Munemoto et al. 2002)¹³⁾. All our researches are based on a standard model with one or two stories and fixed housing shape. In (Yada et al. 1999)¹¹⁾, we used one story and one room house. In

(Munmemoto et al. 2002)¹³⁾, we used “the standard building model” (Udagawa 1985)¹⁴⁾, the model has 2 stories.

4-3 Study System Construction

4-3-1. Model construction

In order to find optimized shape for reducing LCCO₂, LCC and LCW, we use a cubic model as research object, and define the building specifications of model are shown in Table1. Housing materials, constructions and floor area are fixed in this paper, their information is shown in Table2.

4-3-2. Coordinate construction

We suppose a coordinate of research is shown as Fig. 1.

We define geometrical center of cube is coordinate fixed origin. pS, pE, pN, pW, PT, pD are vertexes name of each center of square surface, which are used to modify housing shape: pS is center vertex of southern square surface, pE is center vertex of eastern square surface, and so on. All vertexes above except pD are permitted to move along axis in their domain (Table3), the domain is so big that we can clarify influence of amount of wall and roof area on LCCO₂, LCC and LCW.

Table 1

Structure and floor	Timber frame, 1floor
Building area	36m ² (6mx6m)
Total floor area	36m ²
Direction	North-south direction

Table 2. Information of materials

Parts	detail of parts	name	Thickness (m)
framework	framework	wooden	
wall	wall frame	wooden	0.1
	external wall finish	mortar	0.03
	external wall substratum	plywood	0.01
	wall insulator	rockwool	0.03
	inner wall substratum	lumber	0.05
	inner wall finish	plasterboard	0.012
window	type of window	monolayer	0.149
	sash	aluminum	
floor	floor frame	wooden	
	floor finish	plywood board	0.022
	floor substratum	lumber	0.04
	floor insulator	rock wool	0.03
ceiling	ceiling frame	lumber	
	ceiling finish	plasterboard	0.012
	ceiling substratum	lumber	0.04
roof	roof frame	wooden	
	roof finish	mortar	0.012
	roof substratum	lumber	0.012
	roof insulator	rock wool	0.045

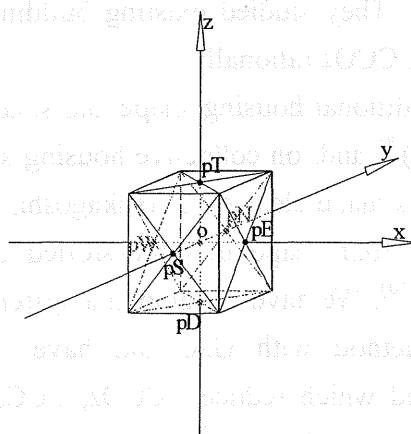


Fig. 1. Coordinate of research

Table 3. Vertex Name

Vertex Name	Definition	Changing coordinate domain
pS	Center point of southern surface of model	[(0.0 , -9.0 , 0.0) , (0.0 , -0.5 , 0.0)]
pE	Center point of eastern surface of model	[(0.5 , 0.0 , 0.0) , (9.0 , 0.0 , 0.0)]
pN	Center point of northern surface of model	[(0.0 , 0.5 , 0.0) , (0.0 , 9.0 , 0.0)]
pW	Center point of western surface of model	[(-9.0 , 0.0 , 0.0) , (-0.5 , 0.0 , 0.0)]
pT	Center point of top surface of model	[(0.0 , 0.0 , 0.5) , (0.0 , 0.0 , 9.0)]
pD	Center point of floor of model	

4-3-3. Data and genes definition

Data and genes are defined according to research flow (Fig.2). Three objects are operated in system:

- 1). Shape factors information
- 2). Materials and building construction information

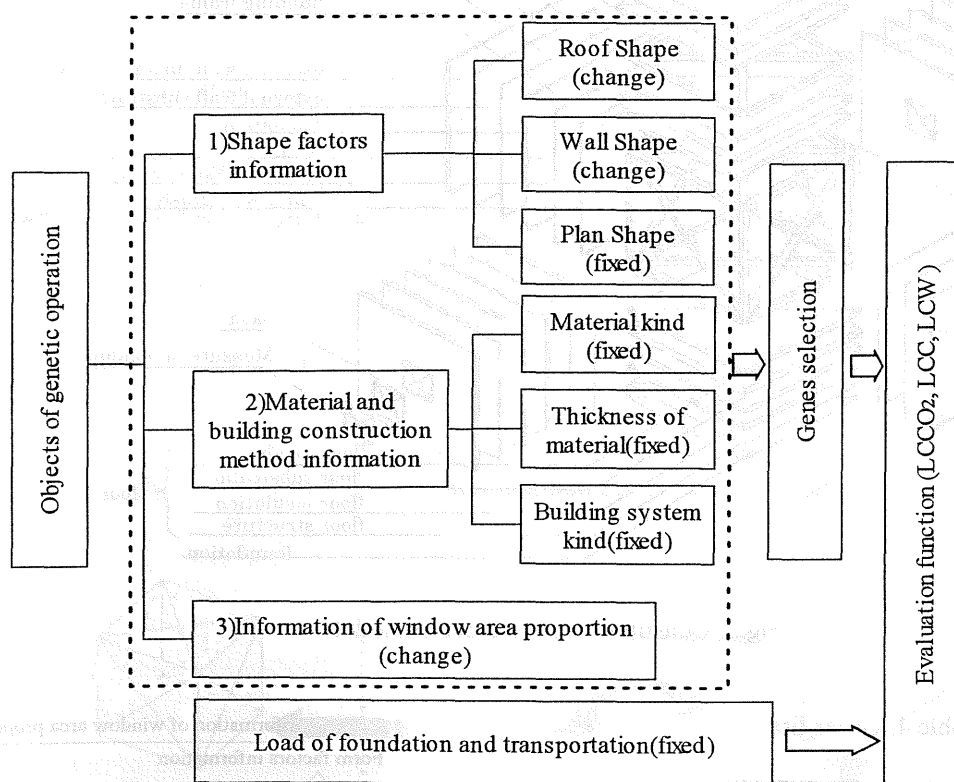


Fig.2. Flow of evaluation

3). Information of window area proportion.

Materials and building constructions information are unchanged and we have defined them in Table2. They were defined according to Fig.3, a disassembled model of detached house. The model was divided into 6 parts, such as foundation, floor, wall,

building frame, ceiling, and roof. Each part has its sub members. And climate condition (the temperature of out-door, condition of sunlight.) and azimuth coefficient of Tokyo are also used in this paper. Furthermore, we define operation of an air-condition is 24hours turn-on. Distance from factory of materials to site is 100km. Distance from site to processing plant of building waste is 50km.

Shape factors information and information of window area proportion are served as genes and used to operate by GA, and they were defined as Table4. The chromosomes of research is shown as Fig.4.

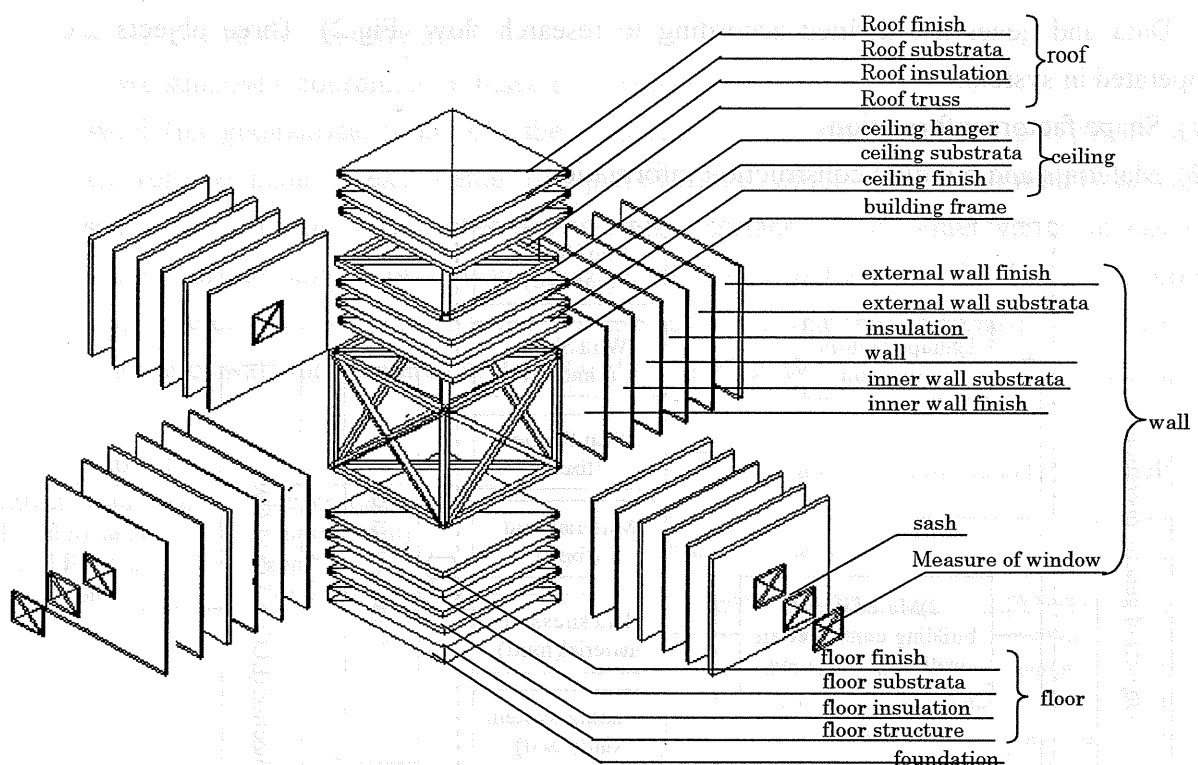


Fig.3. Constitution of member of model

Table 4. Genes list

Vertex Name	Gene code
pS	vect[0]
pE	vect[1]
pN	vect[2]
pW	vect[3]
pT	vect[4]
Parameter	

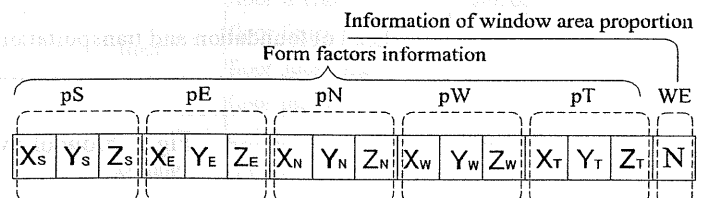


Fig.4. Chromosome of research

4-3-4. Special definitions

In order to make clear influence of amount of wall and roof area on LCCO₂, LCC and LCW from detached house, we define wall and roof area can be transferred each other on some condition. The following is a sample to show transformation relationship between wall and roof area. We define that: there lies an included angle α (α is a angle between upper triangle plane of each square surface and vertical plane), when vertex (e.g., vertex of western wall) is moved among its domain, (we defined vertex moved only along axis), to vertex of western wall, its domain is from $(-9,0,0)$ at a-position to $(-0.5,0,0)$ at b-position, if the angle α is no less than 45 degree, we defined that triangle ABC was transferred from wall to roof, its materials were selected according to roof code but wall.

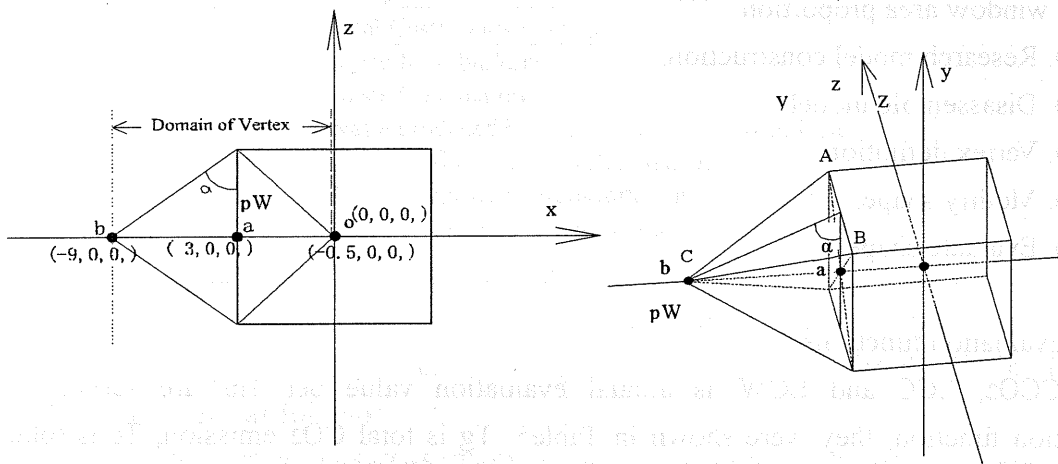


Fig.5. Transfer relationship between wall surface and roof surface

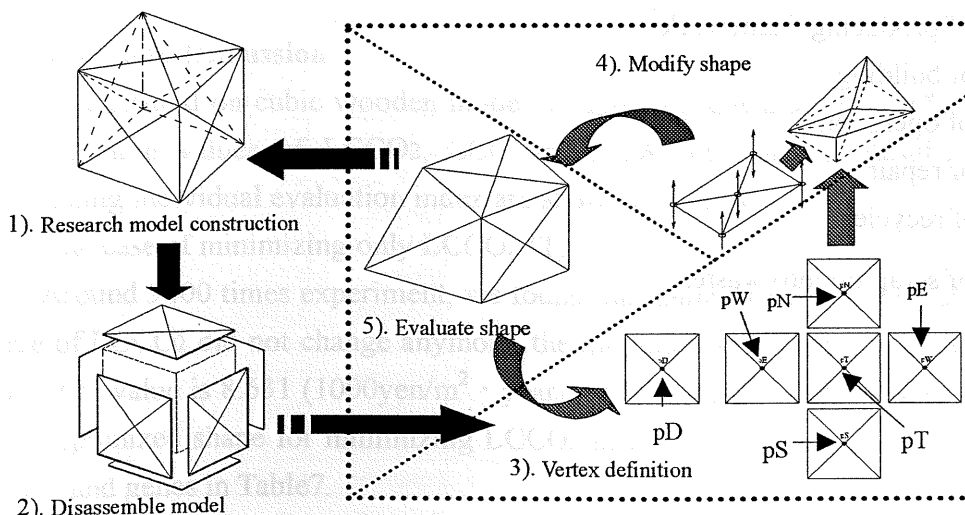


Fig.6. Sketch of method to modify housing shape

At the same time, when we calculate amount of wall area, we should minus area of triangle ABC from wall area and add it to roof area. (Fig.5) Fig.6 shows the sketch of shape modify method, its processes are shown as follows:

Following is the definition of window area. We divide total windows area into four average parts (southern, northern, western and eastern window area) and distribute them to four sidewall surfaces. Quantity of total windows area depends on gene WE (window area proportion). We define domain of gene WE is (0.104~1). And total window area is calculated by following equation:

$$S_{win}=S_f \times WE \quad (1)$$

S_{win} : total windows area.

S_f : floor area.

WE: window area proportion.

- 1). Research model construction.
- 2). Disassemble model.
- 3). Vertex definition.
- 4). Modify shape.
- 5). Evaluate shape.

4-3-5.Evaluation functions

LCCO₂, LCC and LCW as annual evaluation value per 1m² are served as evaluation function, they were shown in Table5. Tg is total CO₂ emission, Tc is total Cost, and Tw is total waste. Calculation of Tg, Tc and Tw include whole Life Cycle stage, we define constituents of the stage as:

- a). Stage of producing materials
- b). Stage of producing framework
- c). Stage of building
- d). Stage of operation
- e). Stage of repair
- f). Stage of recycle
- g). Stage of scraping into wastes

Table 5. Detail of LCCO₂, LCC and LCW constituents

	Code	Meaning
LCCO ₂	Tg1	CO ₂ from building
	Tg2	CO ₂ from material
	Tg3	CO ₂ produced by making part material in factory
	Tg4	CO ₂ produced by recycling material
	Tg5	CO ₂ produced by transportation from factory
	Tg6	CO ₂ produced by transportation to disposal
	Tcg	CO ₂ produced by air-condition running
	Tg	Total CO ₂ emission (kg-C/m ² ·yr)
LCC	Tc1	Cost from building
	Tc2	Cost from material
	Tc3	Cost produced by making part material in factory
	Tc4	Cost produced by recycling material
	Tc5	Cost produced by transportation from factory
	Tc6	Cost produced by transportation to disposal
	Tcc	Cost produced by air-condition running
	Tc	Total Cost(1000yen/m ² ·yr)
LCW	Tw1	Waste from building
	Tw2	Waste from material
	Tw3	Waste produced by making part material in factory
	Tw4	Waste produced by recycling material
	Tw5	Waste produced by transportation from factory
	Tw6	Waste produced by transportation to disposal
	Tw	Total Waste (kg/m ² ·yr)

In addition, we also consider the stages of transporting materials and stages of transporting wastes in life cycle. The equations used to calculate LCCO₂, LCC and LCW are shown as follows:

$$Tg = ((Tg1 + Tg2 + Tg3 + Tg4 + Tg5 + Tg6) / \text{Durable years of body} + Tcg) / \text{Floor Area} \quad (2)$$

$$Tc = ((Tc1 + Tc2 + Tc3 + Tc4 + Tc5 + Tc6) / \text{Durable years of body} + Tcc) / \text{Floor Area} \quad (3)$$

$$Tw = (Tw1 + Tw2 + Tw3 + Tw4 + Tw5 + Tw6) / \text{Durable years of body} / \text{Floor Area} \quad (4)$$

4-4 Result and Discussion

We executed on cubic wooden model by applying GA more than 1×10^4 times and got minimum values of LCCO₂, LCC and LCW individually. Results of case of minimizing individual evaluation index are shown as follows:

1). In the case of minimizing only LCCO₂ (Tg)

Around 9400 times experiment, we found minimum of valuation of LCCO₂, when value of LCCO₂ did not change anymore, the minimum value is 9.918(kg-c/m² · year). And LCC value is 8.631 (1000yen/m² · year), LCW value is 30.902 (kg/m² · year). We show optimized shape for minimizing LCCO₂ in Fig.7 and information of materials in Table6 and genes in Table7.

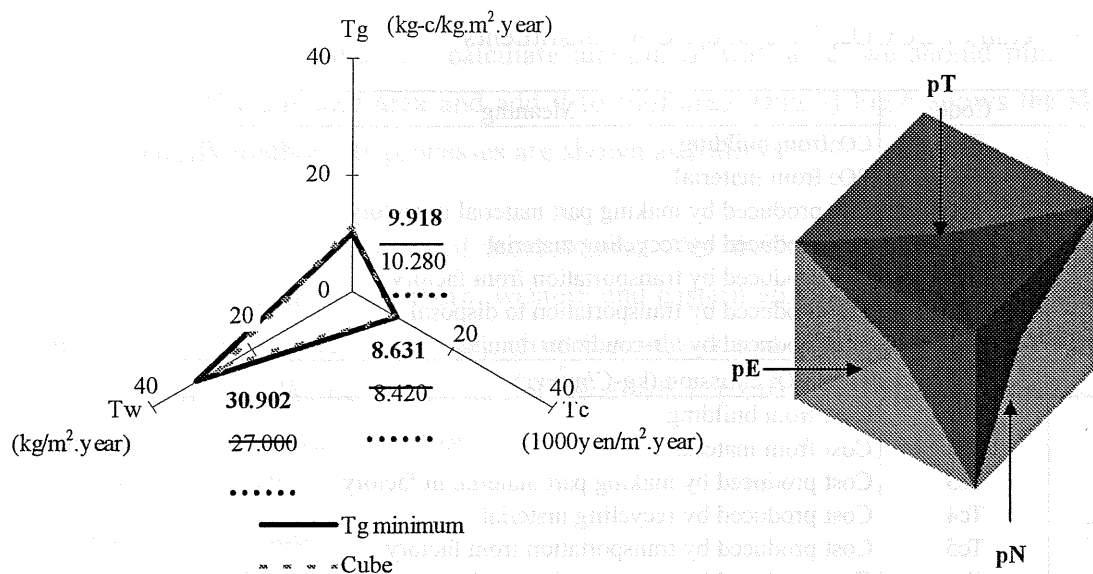


Fig.7.LCCO2 minimum and Form for solution Tg

Vertex name	pS	pE	pN	pW	pT	EW
Genes name	Vect[0]	Vect[1]	Vect[2]	Vect[3]	Vect[4]	Vect[5]
Coordinate	(0, -2.386, 0)	(2.419, 0, 0)	(0, 2.403, 0)	(-2.370, 0, 0)	(0, 0, 2.644)	0.105

Table 6. Information of materials and constructions in case of minimizing only LCCO2 (Tg)

Trial times	1*10 ⁴	LCCO ₂	9.918	(kg-c/m ² ·year)
Evaluation value	9.918	LCC	8.631	(1000yen/m ² ·year)
		LCW	30.902	(kg/m ² ·year)
Unit (kg)				
building frame	building frame	Wooden	8492.4	
	wall	Wooden	467.2	
wall	external wall finish	mortar	8502.5	
	external wall substrata	plywood	765.2	
	insulation	rock wool	170.0	
	interior wall substrata	lumber	320.6	
	interior wall finish	plasterboard	1500.5	
	opening	measure of window	monolayer	78.4
floor	sash	aluminum	43.9	
	structure	Wooden	267.1	
	finish	plywood	427.7	
	substrata	lumber	95	
ceiling	insulation	rock wool	43.2	
	ceiling hanger	lumber	90.7	
	finish	plasterboard	388.8	
roof	substrata	lumber	115.2	
	truss	Wooden	1280.3	
	finish	mortar	468.1	
	substrata	Asbestos	180.2	
	insulation	lumber	216.1	
foundation		rock wool	64.8	
		concrete	6671.8	

We can see, in order to minimize LCCO₂, each surface of wall and roof surface is

concave. Vertex of southern wall, eastern wall, northern wall, western wall and roof are all moved from given position to model core, when window area proportion is 0.105.

2). In the case of minimizing only LCC

For around 8400 times, we got minimum evaluation value of LCC, it was 8.418(1000yen/m² · year). And we got LCCO₂ value was 10.257(kg-c/m² · year), LCW value was 26.721(kg/m² · year). Housing shape for minimizing LCC was shown in Fig.8.

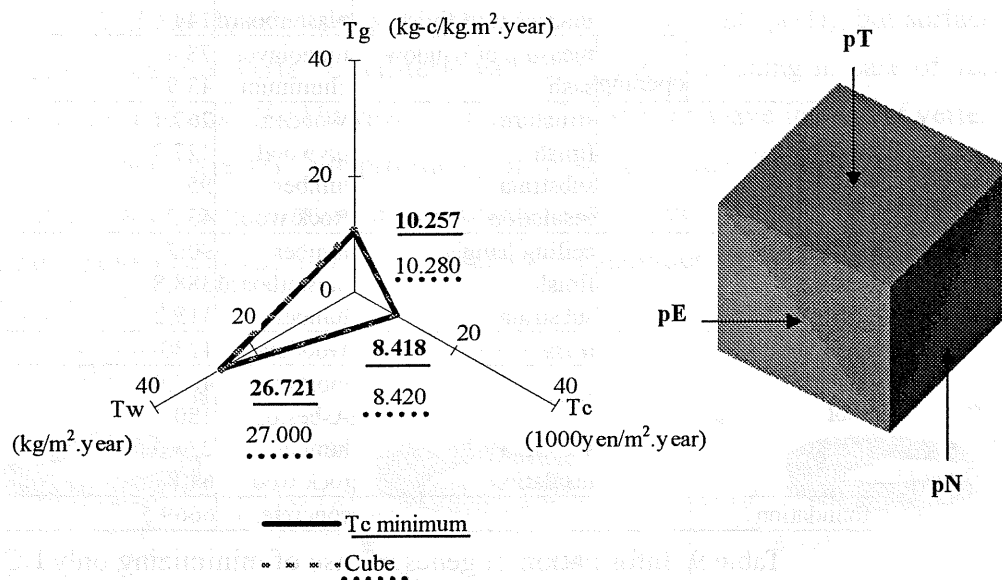


Fig.8. LCC minimum and Form for solution Tc

We can see, in order to minimize LCC, surface of wall and roof are concave, and vertex of southern wall, eastern wall, northern wall, western wall and roof were all moved from given position to inside of model also, but moving distance is less than the one in LCCO₂ minimum. Table8 shows the information of materials and Table9 shows genes in the case of LCC minimum.

Table 8. Information of materials and constructions in case of minimizing only LCC (Tc)

Trial times	1×10^4	LCCO ₂	10.257	(kg-c/m ² ·year)
		LCC	8.418	(1000yen/m ² ·year)
Evaluation value	8.418	LCW	26.721	(kg/m ² ·year)
Unit (kg)				
building frame	building frame	Wooden	8492.4	
wall	wall	Wooden	457.8	
	external wall finish	mortar	8331.4	
	external wall substrata	plywood	749.8	
	insulation	rock wool	166.6	
	interior wall substrata	lumber	320.4	
	interior wall finish	plasterboard	1449.7	
	opening	measure of window	monolayer	78.4
	sash	aluminum	43.9	
floor	structure	Wooden	267.1	
	finish	plywood	427.7	
	substrata	lumber	95	
	insulation	Rock wool	43.2	
ceiling	ceiling hanger	lumber	90.7	
	finish	plasterboard	388.8	
	substrata	lumber	115.2	
roof	truss	Wooden	1280.3	
	finish	mortar	467.9	
		Asbestos	180.1	
		lumber	216.0	
	substrata	lumber	216.0	
	insulation	rock wool	64.8	
foundation		concrete	6669.5	

Table 9. Information of genes in case of minimizing only LCC (Tc)

Vertex name	pS	pE	pN	pW	pT	EW
Genes name	Vect[0]	Vect[1]	Vect[2]	Vect[3]	Vect[4]	Vect[5]
Coordinate	(0, -2.926, 0)	(2.926, 0, 0)	(0, 2.910, 0)	(-2.910, 0, 0)	(0, 0, 2.935)	0.996

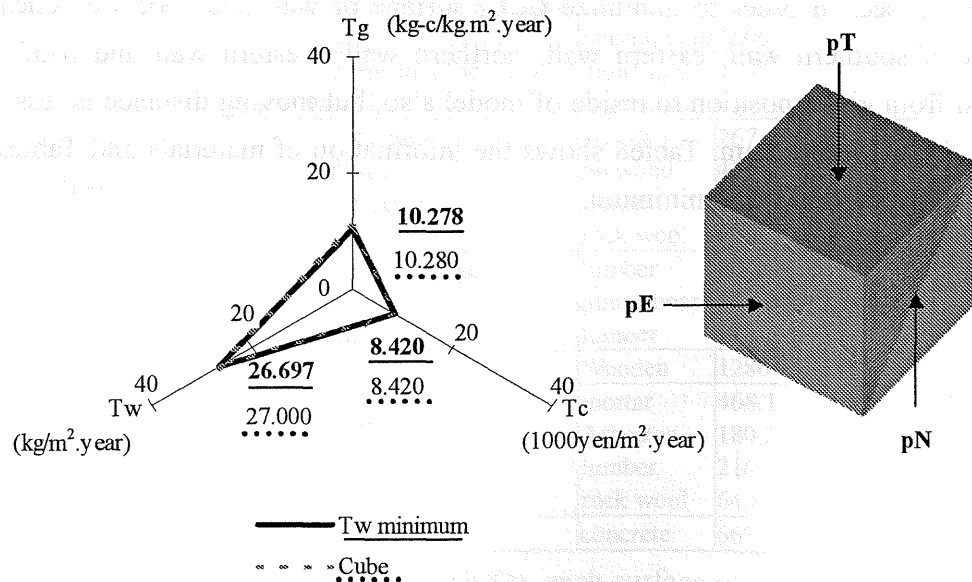


Fig.9. LCW minimum and shape for solution Tw

3). In the case of minimizing only LCW

Around 8800 times, minimum evaluation of LCW is found, it equals $26.697(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{year})$, we got LCCO_2 value was $10.278(\text{kg-c}/\text{m}^2 \cdot \text{year})$, LCC was value was $8.420(1000\text{yen}/\text{m}^2 \cdot \text{year})$ as well. We show the result comparison of LCCO_2 , LCC and LCW in Fig.9.

In the case of minimizing only LCW, there are 6 kinds of shape, we can get information of 6 shapes from Table10. Compared with given coordinate of genes (pS (0, -3.0,0), pE (3.0,0,0), pN (0,3.0,0), pW (-3.0,0,0), pT (0,0,3.0)), we can see, surface of south and north were all concaves in six optimal cases (Table10 pS (a~f)), but surface of east is concave in case of vertex of eastern wall (b~e) and protruding in case of vertex of eastern wall (a) and case (f). However, surface of west is concave in case of vertex of western wall (e) and case (f), but protruding in case (a) ~ (d). To roof surface, it is protruding in all cases. And window area proportion is 1.0. Following is the comparison of modeling results (Table12) and the comparison of member's percentage of LCCO_2 , LCC and LCW (Fig.10).

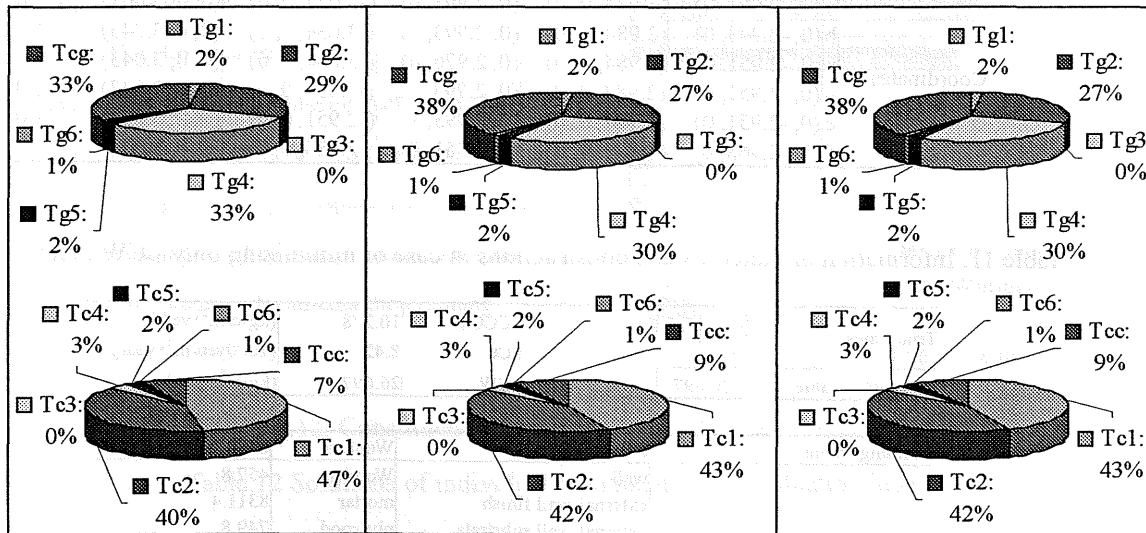


Fig.10-1. LCCO2 minimum

Fig.10-2. LCC minimum

Fig.10-3. LCW minimum

Tg1: CO ₂ from building (kg-c/m ² · year)	Tc1: COST from building (1000yen/m ² · year)
Tg2: CO ₂ from material (kg-c/m ² · year)	Tc2: COST from material (1000yen/m ² · year)
Tg3: CO ₂ produced by making part material in factory (kg-c/m ² · year)	Tc3: COST produced by making part material in factory (1000yen/m ² · year)
Tg4: CO ₂ produced by recycling material (kg-c/m ² · year)	Tc4: COST produced by recycling material (1000yen/m ² · year)
Tg5: CO ₂ produced by transportation from factory (kg-c/m ² · year)	Tc5: COST produced by transportation from factory (1000yen/m ² · year)
Tg6: CO ₂ produced by transportation to disposal (kg-c/m ² · year)	Tc6: COST produced by transportation to disposal (1000yen/m ² · year)
Tcg: CO ₂ produced by air-condition running (kg-c/m ² · year)	Tcc: COST produced by air-condition running (1000yen/m ² · year)

The information of materials and constructions are shown in Table11.

Based on comparison of modeling results, we can see:

1). CO₂ from material (Tg2), CO₂ produced by recycling material (Tg4) and CO₂ produced by air-condition running (Tcg) have more impact on LCCO₂ emission to shape than any factors (Tg1, Tg3, Tg5, Tg6) (Fig.11).

Percentage of CO₂ from material in total LCCO₂ emission is 29%, and it occupies 27% in LCC and in LCW. And percentage of CO₂ produced by recycling material in total LCCO₂ emission is 33%, and the same in LCC and LCW, it is 30%. To CO₂ produced by air-condition running in total LCCO₂ (Tcg) emission, it is the biggest one of all, it percentage is 33% in LCCO₂, and occupies 38% in LCC and in LCW.

Table 10. Information of genes in case of minimizing LCW only (Tw)

Vertex name	pS	pE	pN	pW	pT	EW
Genes name	Vect[0]	Vect[1]	Vect[2]	Vect[3]	Vect[4]	Vect[5]
Coordinates	a(0, -2.951, 0)	(3.034, 0, 0)	(0, 2.993, 0)	(-3.034, 0, 0)	(0, 0, 3.001)	1.0
	b(0, -2.943, 0)	(2.984, 0, 0)	(0, 2.993, 0)	(-3.034, 0, 0)	(0, 0, 3.043)	1.0
	c(0, -2.951, 0)	(2.984, 0, 0)	(0, 2.976, 0)	(-3.034, 0, 0)	(0, 0, 3.043)	1.0
	d(0, -2.951, 0)	(2.984, 0, 0)	(0, 2.993, 0)	(-3.034, 0, 0)	(0, 0, 3.043)	1.0
	e(0, -2.951, 0)	(2.984, 0, 0)	(0, 2.993, 9)	(-2.951, 0, 0)	(0, 0, 3.001)	1.0
	f(0, -2.968, 0)	(3.009, 0, 0)	(0, 3.051, 0)	(-2.984, 0, 0)	(0, 0, 3.034)	1.0

Table 11. Information of materials and constructions in case of minimizing only LCW (Tw)

Trial times	1*10 ⁴	LCCO ₂	10.278	(kg-c/m ² ·year)
Evaluation value	26.697	LCC	8.42	(1000yen/m ² ·year)
		LCW	26.697	(kg/m ² ·year)
Units(kg)				
building frame	building frame	Wooden	8492.4	
wall	wall	Wooden	457.8	
	external wall finish	mortar	8311.4	
	external wall substrata	plywood	749.8	
	insulation	rock wool	166.6	
	interior wall substrata	lumber	320.4	
	interior wall finish	plasterboard	1499.7	
opening	measure of window	monolayer	78.4	
	sash	aluminium	43.9	
floor	structure	Wooden	267.1	
	finish	plywood	427.7	
	substrata	lumber	94.9	
	insulation	rock wool	43.2	
ceiling	ceiling hanger	lumber	90.7	
	finish	plasterboard	388.8	
	substrata	lumber	115.2	
roof	truss	Wooden	1280.3	
	finish	mortar	467.9	
		Asbestos	180.1	
	substrata	lumber	216.0	
foundation	insulation	rock wool	64.8	
		concrete	6669.5	

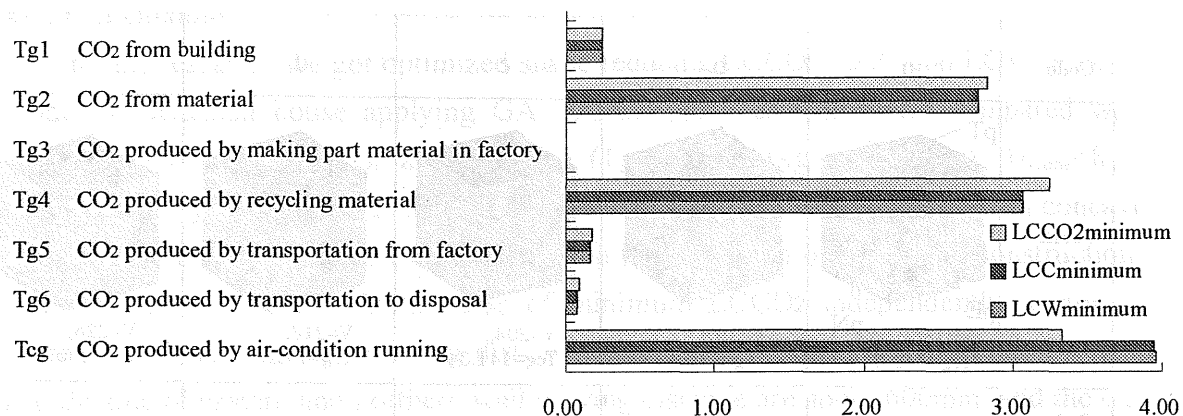


Fig. 11. Constituents Comparison of LCCO2 in Outcomes of 1×10^4 times

2). Cost from building (Tc1) and Cost from material (Tc2) have much impact on LCC of detached house (Fig. 12).

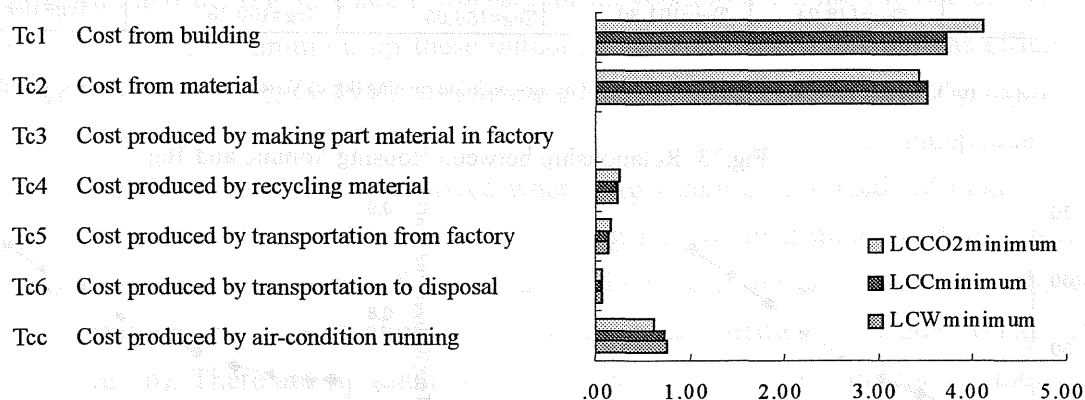
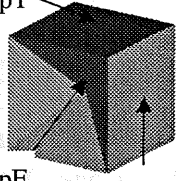
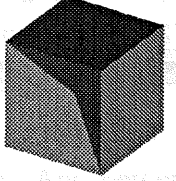
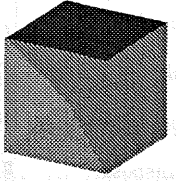
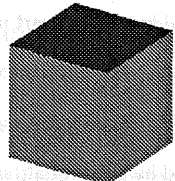
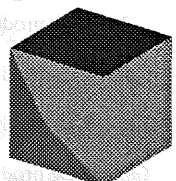
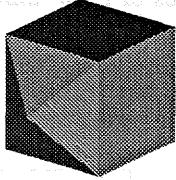
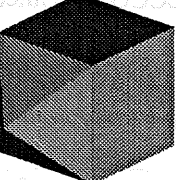
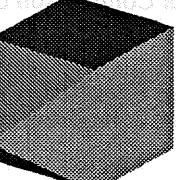
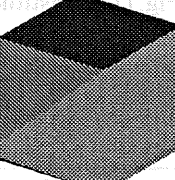
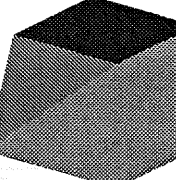


Fig. 12. Constituents Comparison of LCCO2 in Outcomes of 1×10^4 times

Table.12 Solutions of individual minimization of evaluation index

		LCCO ₂ (kg-c/m ² · year)	LCC (1000yen/m ² · year)	LCW (kg/m ² · year)
Individual minimization	LCCO ₂ minimum	9.918	8.631	30.9
	LCC minimum	10.257	8.418	26.721

Percentage of LCC from material in total LCC, when LCCO₂ minimum, it occupies 47%, and in case of LCC minimum and LCW minimum, it is 43%. And percentage of Cost from material in total LCC, when LCCO₂ minimum, it is 40%, but in case of LCC minimum and LCW minimum, it is added to 42%.

Code	a	b	c	d	e
Form	 <p>pT pE pN V=186, Tcg=140.37</p>	 <p>V=192, Tcg=140.60</p>	 <p>V=204, Tcg=141.34</p>	 <p>V=216, Tcg=142.85</p>	 <p>V=228, Tcg=145.19</p>
Code	f	g	h	i	j
Form	 <p>V=240, Tcg=148.24</p>	 <p>V=252, Tcg=151.80</p>	 <p>V=264, Tcg=156.05</p>	 <p>V=276, Tcg=160.18</p>	 <p>V=288, Tcg=164.00</p>

Note: V (m³): Volume of model Tcg: CO₂ produced by air-condition running (kg-c) Vertex used to modify shape was pE.

Fig.13. Relationship between Housing Volume and Tcg

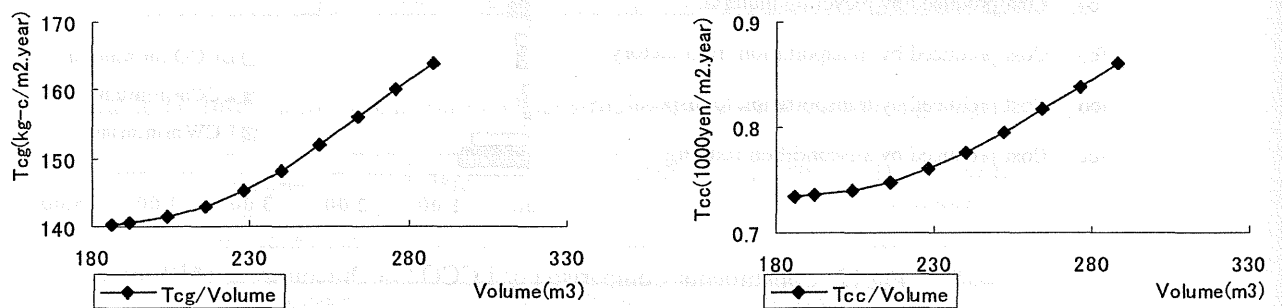


Fig.14. Curve of Relationship between Housing Volume and Tcg and Tcc

3). We executed to clarify relationship between load produced by air-condition running (Tcg and Tcc) and housing shape volume, we found that the more volume of detached house was, the more LCCO₂ produced by air-condition running. When volume of model changes from 186 m³ (shape a in Fig.13) to 288 m³ (shape j in Fig.13), its LCCO₂ emission is added from 140.37 (kg-c/m² · year) to 164 (kg-c/m² · year), and its LCC is added from 73.45 (10yen/m² · year) to 86.04(10yen/m² · year), the tendency is going up (Fig.14).

4-5. Conclusions

In this research, we got optimized shape reducing LCCO₂, LCC and LCW of cubic model of detached house applying GA. On the same condition, we compared with LCCO₂, LCC and LCW of applied cube ($Tg_{cube}=10.28(\text{kg-c/m}^2 \cdot \text{year})$, $Tc_{cube}=8.42(1000\text{yen/m}^2 \cdot \text{year})$, $Tw_{cube}=27.00(\text{kg/m}^2 \cdot \text{year})$). As a result, housing shape with concave surface is efficient to reduce LCCO₂, LCC on the condition of materials, constructions and floor area are fixed. In the case of minimum LCCO₂ independently, vertex of southern and western wall moving distance from given position are all about 700mm, and the one of eastern and northern wall moving distance are about 600mm, and the one of roof is 400mm. We indicate that southern wall and western wall affect LCCO₂ from housing shape more than other walls and roof. Its LCCO₂ is $0.362(\text{kg-c/m}^2 \cdot \text{year})$ and lower than the one of applied cube. In the case of minimum LCC, vertex of western wall is concave more deeply than other three walls and roof, its moving distance is about 100 mm. The next is the one of northern wall, it moved 90mm, and the one of southern wall and the one of eastern wall are all moved about 70mm, the one of roof is moved about 65mm. Summing up these outcomes, western concave wall was efficient to reduce LCC. In this case, LCC of housing shape is $0.002(1000\text{yen/m}^2 \cdot \text{year})$, it is lower than the one of applied cube. In the case of LCW minimum independently, vertexes have cases that they were moved whether to inside or to outside of model. For example, in the case of vertex of roof, its moving maximum distance is 43mm from given position to outside (vertex of roof: b~d). In the case of vertex of southern wall, its moving maximum distance is about 70mm from given position to inside (vertex of southern wall: b). There are six kinds of shape, and we have shown in table 10, they all meet the case that LCC is minimum, their LCC are $0.303(\text{kg/m}^2 \cdot \text{year})$, and they are lower than that of applied cube.

When volume of model was changed from 186 m^3 (shape a in Fig. 13) to 288 m^3 (shape j in Fig. 13), its LCCO₂ was added $23.63(\text{kg-c/m}^2 \cdot \text{year})$, and its LCC was added $0.013(1000\text{yen/m}^2 \cdot \text{year})$, caused by air-conditioning load.

We used only 5 moving vertexes to search shape which reduce LCCO₂, LCC and LCW from detached house. We will increase moving vertexes to make research model closer to real house, and take more factors such as materials and constructions method, etc into account. Furthermore, we have perspective to study shape of model for multipurpose problem of reducing LCCO₂, LCC and LCW.

Endnotes

(1) Reference (14)

(2) Reference (2)

(3) Reference (8)

(4) Reference (3)

(5) Reference (1)

(6) Reference (9)

(7) Reference (6)

(8) Reference (4)

(9) Reference (10)

(10) Reference (7)

(11) Reference (12)

(12) Reference (13)

(13) Reference (5)

(14) Reference (11)

Reference

- 1) Hyun C., Kim M., The Development of an Optimized-Plan Selection System Using AHP and LCC Concepts – Focused on the selection for the equipment system, *J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ*, 469, pp.149-156, (1995)
- 2) Hiroatsu, F., Toshio, O., The necessity for “Two step separation” to Recycle Construction and Demolition waste, *JAABE 117*, pp.157-166, (2002)
- 3) Ishizuka, Y., First Report the Calculated Method of Standard building Repair Cost. *J. Archi. Plann. Environ., AIJ*, pp.356, 63-67 (1985)
- 4) Kimura, K., Science of environmental Architecture. *JP*, (1964)
- 5) MUNEMOTO Junzo, HOKOI Shuichi, HARIMOTO Kazuyoshi, YOSHIDA Tetsu, TAKANO Shungo Multi-objective problem reducing LCCO₂, LCC, and Final Waste in selecting materials for detached-house, *J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ*, pp.551, 85-92, (2002)
- 6) Sakai K., N. Uruchizaki, H. Ohga, M. Shimoyama, Life Cycle CO₂ Emission from the Buildings and the Restrained Means, *J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ*, 484, pp.105-112, (1996)
- 7) Shima, F., On the cost of the exterior skin (wall and roof) in multi-storied office building. Transactions of the architectural institute of Japan, pp.57-59, (1968)
- 8) Suzuki, M., Application of Input/Output Analysis to Building (Parts3). *Transation of AIJ*, pp.77-82, (1994)
- 9) Takakusagi A., Study on Life Cycle Cost Coordinated to Profitability Planning for Rental Office Building Management, *J. Archi. Plann. Environ. Eng., AIJ*, 496,

pp.145-152 (1997)

10) Tukagoshi, I, Relation between quantity of building elements and its cost in the case of apartment house-study on B.E quantity 3. Transactions of the architectural institute of Japan, pp.61-64 (1968)

11) Udagawa M., Proposal of Standard Problem, the Standard Building Model, J. Archit. Proceeding of the 15 Thermal Environment, Subcommittee on Thermal Environment under Research Committee on Environmental Engineering, AIJ, pp.23-33, Tokyo, Japan, September, (1985)

12) Yada, T., J. Munemoto, T. Yoshida, S. Takano, Multi Objective Problem reducing LCC LCCO₂, Final Waste in Selecting Materials for Detached House-The study about an application of genetic algorithms for the estimation system in selecting materials for detached house-, J. Archi. Plann. Environ., AIJ, 524, pp.77-84 (1999)

13) Yada, T., J. Munemoto, T. Yoshida, S. Takano, A Study of an Application of Genetic Algorithms to the System of Estimation by Reduction of Environmental Load in Selecting Materials in Detached House-, J. Archi. Proceeding of the 21 symposium on computer technology of information, systems and applications, AIJ, pp.391-396, Tokyo, Japan (1999)

14) Eco-material reference, Science forum, Institute of Eco-material reference (1997)

第5章 木造独立住宅の空間規模と通勤距離のCO₂排出量均衡モデル

5-1 研究の背景と目的

環境負荷の問題は、人口のうち多くを占める人々の生活の場である都市と密接に関連する。世帯を単位として、各世帯が排出するCO₂の量は建物のライフサイクルから生じるCO₂はもとより、住宅立地から職場への通勤によるCO₂排出は、共に大きな割合を占めていることが分かる。ここでは都市全体の世帯から排出されるCO₂総量がある水準を抑える場合、各世帯が均等にCO₂排出の制約を負担すると仮定する問題を考察する。各世帯は、住宅のライフサイクルから排出されるCO₂と、通勤のエネルギー消費から排出されるCO₂との合計に対して、上記の一定のCO₂排出の制約を受けると考える。建物のライフサイクルから排出されるCO₂を左右する住宅の規模や資材と、通勤のエネルギー消費から排出されるCO₂を左右する都市における住宅の立地の両者を適切に定めると、より豊かな住宅が可能になると考えられる。本論では、一定のCO₂排出量制約の仮定の下で、住宅のライフサイクルCO₂と、通勤のCO₂排出を適切にコントロールした場合に、どのような住宅が可能であるか、CO₂排出量の均衡モデルを用いて調べるものである。これは都市における住宅の規模と立地の新たな視点を与えることができるのではないかと考えられる。

本論ではアロンゾなどが用いたモデル^{〔文献 19〕}を参考にして、CO₂排出量の均衡モデルによる住宅の立地、規模とその住宅の年間CO₂排出量の関係を示す。問題を分かりやすくするために、都市では職場が全て都心一ヶ所に集中しているとし、都市内のどの地点からも都心への直線移動が可能であると仮定する。1軒の住宅のライフサイクルでのCO₂排出量を単位年度あたりに換算したものは、「住宅のライフサイクルCO₂（以下、LCCO₂）」、居住者の単位年度あたり通勤移動のエネルギー消費量は、「通勤CO₂」と定義する。ある世帯の1年当たりの環境負荷指標は、「LCCO₂」と「通勤CO₂」の合計から算出されるものとし、これを「年間CO₂総量」とする。これは式（1）のように表される。

$$T = T_g + T_t \quad (1)$$

T: 1世帯のCO₂排出量の負担——「年間CO₂総量」(kg-C/yr)

T_g: 建物のライフサイクルCO₂排出量——「LCCO₂」(kg-C/yr)

T_t: 年間通勤によるCO₂排出量——「通勤CO₂」(kg-C/yr)

本論では、線状都市と独立住宅をモデル化し、鉄道の通勤移動の短縮で、在来木造住宅に振り向けることが出来る「通勤CO₂」の剰余を、この世帯の住宅床面積の増大に充てるものとする。

図1に示すように、住宅の「通勤CO₂ (T_t)」と、その住宅から都心への通勤距離 (D_i) との関係は、線形一次関数とする。ここで、立地点iにある住宅に対して、T_{ti}はそれに対応する「通勤CO₂」である。ある立地点2に対して、その住宅の空間規模特性の組合せから、

住宅の「LCCO₂ (T_{g2})」を算出することができるとすると、この住宅の「年間 CO₂ 総量 (T)」は式 (2) のように表される。

$$T = T_{g2} + T_{t2} \quad (2)$$

都心により近接した立地点 1 の住宅では、立地点 2 の住宅よりも「通勤 CO₂」は小さい。図 1 で、立地点 2 にある住宅と立地点 1 にある住宅の間に、通勤による CO₂ 排出量の差分 (ΔT_t) があることが分かる (式(3))。

$$\Delta T_t = T_{g1} - T_{g2}, (\Delta T_t > 0) \quad (3)$$

「年間 CO₂ 総量 (T)」を一定の水準に維持する場合、この差分の CO₂ 排出量 (ΔT_t) を立地点 1 の住宅の「LCCO₂」に充当するとすると、立地点 1 の住宅は、立地点 2 の住宅よりも大きな延床面積をとることができることを意味している。すなわち、図 1 のような「年間 CO₂ 総量」一定の条件における CO₂ 排出量の均衡モデルでは、住宅は都心へ近接するほど大きな床面積をとることが可能である。さらに、上記の条件の下、一軒の住宅の最大床面積とその住宅の通勤距離の関係は、限界効用曲線として描くことができる (図 2)。

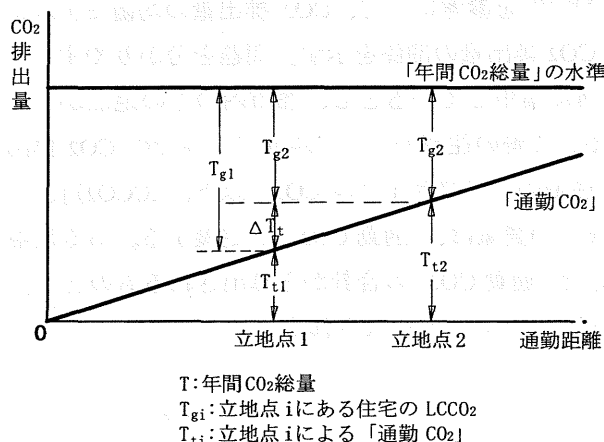


図 1 住宅の CO₂ 排出量均衡モデル

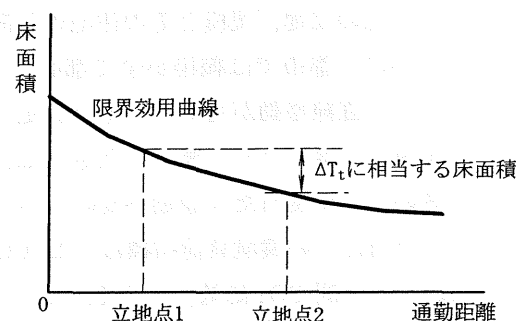


図 2 限界効用曲線

本研究の目的は、都市に居住している各世帯の「年間 CO₂ 総量」を一定とした時に、その世帯の住宅の立地点と極大化した延床面積の関係を示す「限界効用曲線」を導き、同時に、各立地点の住宅の空間規模を遺伝的アルゴリズム (以下「GA」) によって明らかにすることである。

なお、本論は 1 世帯の CO₂ 排出量の均衡モデル上での研究であり、都市全体の CO₂ 排出量の極小化問題ではない。

5-2 既往研究の位置付け

環境負荷に関する研究は建築や都市計画分野で多くなされている。

建築分野で、建築の環境負荷については、モデルや実際の建築物に対して LCCO₂ と、ライフサイクルコスト (LCC) と最終廃棄物量 (LCW) を環境への負荷と捉え、それらの評価値の計算を行ったり、合理的に削減させるための方策を摸索したりしたものが多い^[文献 3, 4]。また、環境負荷の各指標の耐用年数による相違を明らかにしたものも見られる^[文献 5, 6]。筆者らはこれまでの研究において、単純な建物形状の独立住宅を仮定してモデル化し、ライフサイクル環境負荷の最小化のために、建材と工法の組合せを多目的問題として GA を用いて最適解を探索する研究を行ってきた^[文献 1]。また、環境工学分野で熱負荷計算等に広く用いられている標準問題の建築物モデル (以下、「標準モデル」) を対象として LCCO₂ と LCW、LCC を同時に最小化させる建材と工法の組合せ方法を提示した^[文献 2]。前述の先行研究では、立地点を仮定した上での建築単体の環境負荷低減に関する研究である。

都市計画分野では、鈴木、松橋は、都市をモデル化し、通勤及び業務移動エネルギーを最小化する計算によって、コンパクトな最適立体都市形態を示した^[文献 7-文献 9]。酒井寛二他は建築物の統合と分散による都市更新の環境負荷評価を行った^[文献 10]。以上は、建築物の環境負荷計算には簡略化された平均的なデータが用いて、都市尺度から見た省エネルギー型の都市空間構造に関する研究である。

単位世帯の住宅の規模、立地と各世帯の CO₂ 負担条件から CO₂ 排出量の均衡モデルを用い、より良い住宅空間を見出そうとする研究はまだ見られない。また、これらの環境負荷の組合せ問題を進化的計算により最適化する研究は、筆者らのグループを除いて行われていない。

5-3 モデルとシミュレーションの方法

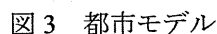
5-3-1 都市モデルの作成

本研究では、都市中の人々が直線状に移動すると想定し、「距離」を明示的に扱う簡略化された 1 次元都市モデルを作成する。都市は等質のゾーンに分割され、対称であるので、中央を含めた半分についてモデル化する。都心はゾーン 0、以下順に右隣のゾーンをゾーン 1、ゾーン 2...ゾーン 10 までの 11 ゾーンとする。隣り合うゾーン中心間の距離は 5km で、都市の半径は 50km となる (図 3)。

図 3 のように「距離」のみに着目した単純な線状都市モデルをもとに、住宅立地、規模と環境負荷の関係を分析する。都市モデルには次のような条件を仮定した。

- 1) 都市は同質で起伏のない平面である。
- 2) 都市の中心点に中心業務地区 (CBD) があり、勤務先はすべて都心に集中する。都心を原点とし、交通機関が線状に延びている、交通移動は直線状に行われると想定し、全ての建造物はその線上にある。
- 3) 各ゾーンの中心点に鉄道駅があり、同ゾーン内の移動は自転車や徒歩などエネルギーを使

5)都市内の土地の価格は場所によらず一定とする。



GA を適用するために、住宅の空間規模の情報を遺伝子にコーディングし、その配列から

染色体を作成する。遺伝子情報は各層相互の床面積比 ($Rf21$ 、 $Rf31$)、東南辺長比 (Rs) を表現する。 $Rf21, Rf31$ は $0.00 \sim 3.00$ の変域に変化させる。 $Rf21=0, Rf31=0$ になると、住宅は平屋建てである。 $Rf21 \neq 0, Rf31=0$ の場合、2 階建てを意味する。 $Rf21 \neq 0, Rf31 \neq 0$ の場合、3 階建てを意味する (図4)。 $Rf31=1$ 或いは $Rf21=1$ となると、該当層は 1 層と同じ床面積を持っている。 Rs は $0.40 \sim 2.50$ の変域で変化させる。 $Rs=1$ になると、東辺と南辺が同じ長さで、床形状は正方形である。

表1 モデルの資材仕様と部材特性

部位	部材	資材仕様	部材厚さ (m)
躯体	躯体	在来木造	—
壁	壁体	在来木造	0.03
	外壁仕上げ	モルタル	0.005
	外壁下地	合板	0.005
	壁断熱	ロックウール	0.15
	内壁下地	製材	0.01
	内壁仕上げ	プラスター板	0.01
窓	窓ガラス仕様	単層	窓面積割合変域
	サッシュ	アルミ	0.143
床	床構造	在来木造	—
	床仕上げ	合板	0.005
	床下地	製材	0.01
	床断熱	ロックウール	0.15
天井	天井構造	製材	—
	天井仕上げ	プラスター板	0.025
	天井下地	製材	0.05
屋根	屋根構造	在来木造	—
	屋根仕上げ	セメント板	0.005
	屋根下地	製材	0.005
	屋根断熱	ロックウール	0.15

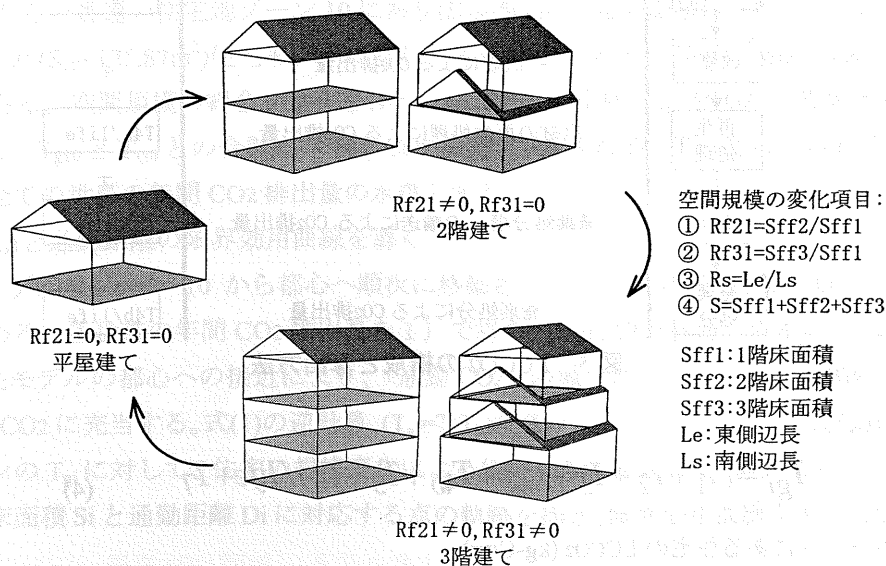


図4 住宅モデルが表現し得る空間規模

5-3-3 年間 CO₂ 総量の算出

1) LCCO₂ の算出方法

本論では、住宅のライフサイクルを7段階に分け、それらは図5の左側を示すように、資材製造、部材製造、施工、運用、改修、再生処理、廃棄処分である。その中で、改修段階における CO₂ 排出量の原単位は施工段階と同じと想定し、改修の CO₂ 排出量は施工段階の量に改修回数を乗じて算出する。運用段階の CO₂ 排出量 (T₇) は、その住宅に住んでいる人たちのライフスタイルと深い関係がある。本論では、簡単のため年間空調運転による電力消費による CO₂ 排出量は運用段階の CO₂ 排出量 (T₇) になるとする。空調使用の条件は、1日つき24時間の全室空調、冷房使用期間は6～9月、室内冷房温度は27°C、暖房は12～3月、室内暖房温度は18°Cである。それぞれの段階の CO₂ 排出量は図5右側の式によって算出し、それらの合計が LCCO₂ になるとする。ライフサイクルにわたる LCCO₂ の計算は式(4)によって行う。

ライフサイクル の段階	CO ₂ 排出量の内訳	計算式
資材製造	資材製造に伴う CO ₂ 排出量	T ₂ /life
↓		+
部材製造	工場での加工組立による CO ₂ 排出量	T ₃ /life
↓		+
輸送1	工場からの輸送による CO ₂ 排出量	T ₅ /life
↓		+
施工	施工現場における機械使用による CO ₂ 排出量	T ₁ /life
↓		+
運用	運用による CO ₂ 排出量	T ₇
↓		+
改修	改修による CO ₂ 排出量	
↓		+
再生処理	廃材の再生処理による CO ₂ 排出量	T _{4a} /life
↓		+
輸送2	廃棄処分場への輸送による CO ₂ 排出量	T ₆ /life
↓		+
廃棄処分	廃棄処分による CO ₂ 排出量	T _{4b} /life

図5 LCCO₂ の構成と算出方法

$$T_{gi} = (T_1 + T_2 + T_3 + T_{4a} + T_{4b} + T_5 + T_6) / life + T_7 \quad (4)$$

T_{gi}: ゾーン i にある住宅の LCCO₂ (kg-C/yr)

T₁: 施工現場 (kg-C)

T₂: 資材製造による CO₂ 排出量(kg-C)

T₃: 工場での加工組立による CO₂ 排出量(kg-C)

T_{4a} : 再生処理による CO₂ 排出量(kg-C) T_{4b} : 廃棄処分による CO₂ 排出量(kg-C)
 T_5 : 工場からの輸送による CO₂ 排出量(kg-C) T_6 : 廃棄場への輸送による CO₂ 排出量(kg-C)
 T_7 : 住宅年間運用による CO₂ 排出量(kg-C/yr)
 life: 躯体の耐用年数(yr) i: ゾーンの番号

2) 「通勤 CO₂」の算出方法

本研究では、1 住宅に 1 世帯が住み、そのうち 1 人が一日一往復鉄道で毎日自宅から都心へ通勤すると設定する。住宅立地による「通勤 CO₂」の量は式(5)によって推計する。その中の 1 人年間通勤交通エネルギー消費量原単位は式(6)から得る。

$$T_{ti} = E \times D_i \quad (5)$$

T_{ti} : ゾーン i の「通勤 CO₂」(kg-C/yr) D_i : ゾーン i の通勤距離 (km)
 i: ゾーンの番号 E: 1 人年間通勤交通エネルギー消費量原単位 (kg-C/km・yr・人)

$$E = \frac{G}{n} \times d \times \frac{a}{b} \times 2 \quad (6)$$

E: 1 人年間通勤交通エネルギー消費量原単位 (kg-C/km・year・人)
 G: 鉄道のエネルギー消費量原単位 (5562kcal/km) [文献 11]
 n: 平均乗車人数 (鉄道で 55.13 人/車両) [文献 11] d: 年間出勤日 (250 日/year)
 a: 1kcal=1.661×10⁴kg-CQ₂[文献 12] b: 1kg-C=3.67kg-CQ₂[文献 12]

5-3-4 シミュレーションの手順

1) 「年間 CO₂ 総量」の水準を求める

都心から一番遠い住宅地ゾーン 10 にあり($D_{10}=50\text{km}$)、延床面積は「標準モデル」と等しく設定した($S_{10}=125.87\text{m}^2$)住宅モデルに対して考察する。ゾーン 10 の「通勤 CO₂」 T_{t10} は式(5)より得る。空間規模の組合せ選択を伴う LCCO₂ の最小解 T_{g10} を GA で探索する。式(1)によって、 T_{g10} と T_{t10} との合計の「年間 CO₂ 総量」 T を求める。 T は都市中の各ゾーンに居住する全ての世帯の年間 CO₂ 排出量の水準とする。

2) 床面積と通勤距離の限界効用曲線を導く

住宅モデルをゾーン 10 から都心へ順次に移動させ、各ゾーンの「通勤 CO₂」 T_{ti} を式(5)より求める。各世帯の年間 CO₂ 排出量を 1) で得た「年間 CO₂ 総量」の水準 T に留める場合、住宅モデルの都心への接近により、「通勤 CO₂」の減少によって生じる余剰の CO₂ 排出量を LCCO₂ に充当する。式(1)の逆計算 ($T_{gi}=T-T_{ti}$)で各ゾーンの住宅の LCCO₂(T_{gi})を求める。各ゾーンの T_{gi} に対して、住宅の規模変化による住宅の最大床面積 S_i を探索する。各ゾーンの最大床面積 S_i と通勤距離 D_i に対応する点の軌跡を描き、限界効用曲線を導く(図 6 参照)。

モデルが都心へ近接するに伴って最大床面積は増加していることが分かる。ゾーン 0 にある($D_0=0$)住宅モデルの最大面積 S_0 は 174.49m^2 である。通勤移動の減少により節約した CO_2 排出量を床面積の最大化に利用した結果、ゾーン 10 より約 48.62m^2 大きい床面積が可能となった。各立地の最大床面積を除いて、 $D_9=45\text{km}$ のゾーン 9 で得た最適解の空間規模はゾーン 10 での住宅の最適解と同じであった。しかし、ゾーン 8 ($D_8=40\text{km}$) からゾーン 0 ($D_0=0$) までで得た最適解はすべて 3 階建て住宅であった。その時住宅空間規模は、各階が同じ床面積を持ち ($Rf21=Rf31=1$)、床形状が正方形で ($Rs=1$)、の 3 階建て独立住宅である。ゾーン 0 にある住宅の空間規模は表 3 に示す。各立地点の住宅最適解の空間規模の情報は表 4 に示す。図 8 は、試行の結果を通勤距離(D_i)と最大床面積(S_i)の「限界効用曲線」と示したものである。

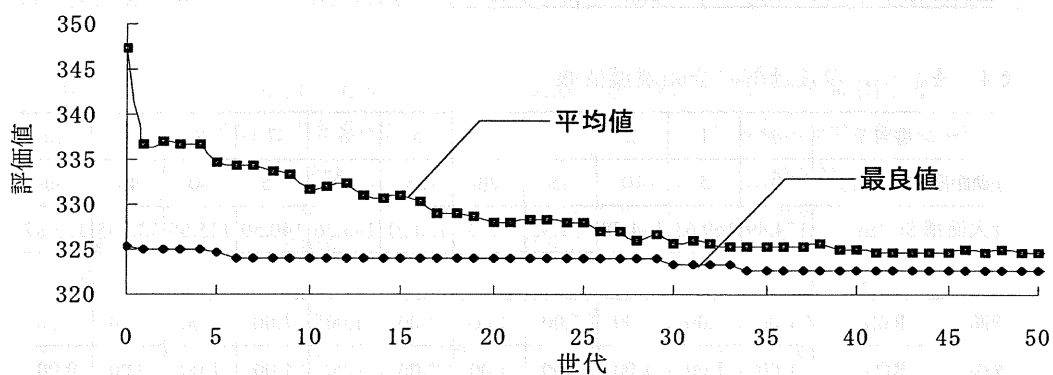


図 7 各世代の最良個体の評価値の推移

表 2 ゾーン 10 にある住宅最適解の空間規模

	1 階	2 階
床面積比 $Rf21$	1.00	
辺長比 Rs	1.00	1.00
階高 (m)	2.40	2.40
延床面積 (m^2)	125.87	
南辺長 (m)	7.93	7.93
東辺長 (m)	7.93	7.93
床面積(m^2)	62.94	62.94
南壁面積(m^2)	19.04	19.04
東壁面積(m^2)	19.04	19.04
窓面積(m^2)	9.00	9.00
屋根面積(m^2)	0.00	70.36

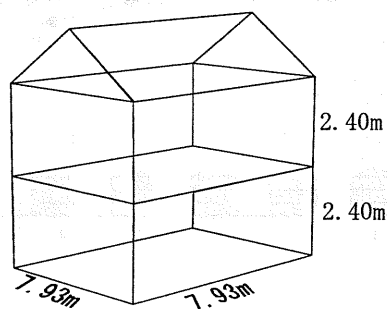


表3 ゾーン0にある住宅最適解の空間規模

	1階	2階	3階
床面積比 Rf31	1.00		
床面積比 Rf21	1.00		
辺長比 Rs	1.00	1.00	1.00
階高 (m)	2.40	2.40	2.40
延床面積 (m ²)	174.49		
南辺長 (m)	7.63	7.63	7.63
東辺長 (m)	7.63	7.63	7.63
床面積(m ²)	58.16	58.16	58.16
南壁面積(m ²)	18.30	18.30	18.30
東壁面積(m ²)	18.30	18.30	18.30
窓面積(m ²)	8.31	8.31	8.31
屋根面積(m ²)	0.00	0.00	65.03

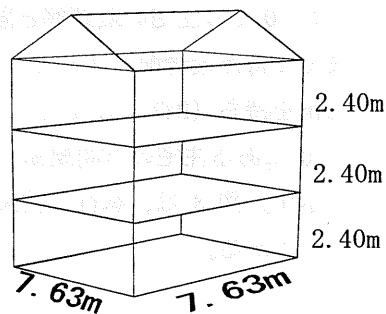


表4 各ゾーンの最適解の空間規模情報

ゾーン番号 i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
通勤距離 Di (km)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
最大面積 Si (m ²)	174.49	169.63	164.78	159.92	155.07	150.21	145.36	140.50	135.65	130.65	125.87
空間規模	階数	3								2	
	Rf21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Rf31	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
	Rs	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

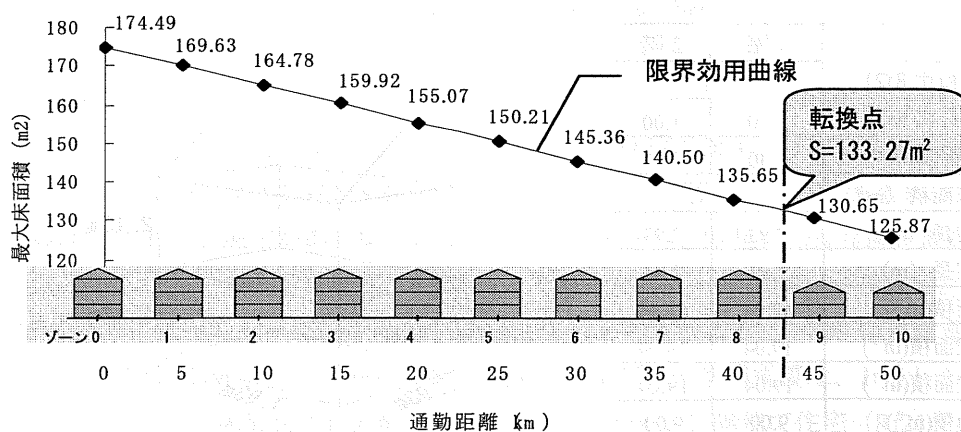


図8 最大床面積と立地の関係を示す「限界効用曲線」

5-5 考察

1) LCCO₂ の構成において、T₂ の資材製造による CO₂ 排出量と T₇ の運用段階の CO₂ 排出量は大きな割合を占めている。他の部分の変化はこの 2 つ量の変化と深く関係している。LCCO₂ を減少させるために、資材使用量と空調の電力消費量を大きく下げることが重要であると考えられる。

GA 探索で得た各ゾーンの最適解の空間規模は、すべて各階の床面積が一致し、東南辺長比が 1 である。これは延床面積と高さが同じ場合、周辺長が短くなるほど部位の表面面積が小さくなり、資材使用量が減少するためであると考えられる。屋根外装材として使用している石綿は、本研究の住宅モデルで使っている資材のうちで、CO₂ 原単位の極めて大きい資材である（表 5 参照）。そのため、各階の床面積が同じ場合、特に 3 階建ての場合、1 階と 2 階の屋根がなくなり、屋根面積は最小化になる（表 2,3 のデータを参照）。それによって石綿の使用量が減少し、石綿の製造による CO₂ 排出量は大きく減少することが分かる。

表 5 資材製造による CO₂ 排出量原単位（注：文献 16）のデータによる算出する）

No	名前	CO ₂ 排出量原単位 kg-c/kg	No	名前	CO ₂ 排出量原単位 kg-c/kg
1	コンクリート	0.031	6	モルタル	0.085
2	製材	0.056	7	ロックウール	0.049
3	合板	0.162	8	ガラス	0.199
4	鉄筋	0.241	9	石膏	0.004
5	アルミニウム	0.376	10	石綿	2.617

2) 図 8 に示す「限界効用曲線」を見ると、住宅モデルが都心に最も近づくと面積が約 1.4 倍増加できることが分かる。本研究で設定した条件の下で、延床面積がある値を越えると、3 階建て住宅の方が 2 階建て住宅より環境負荷の点で有利な性質を持つことが分かる。この転換点の床面積において、床面積が約 133.27m² 未満の場合、同じ在来木造資材仕様を持つ 2 階建て住宅モデルは、3 階建てより CO₂ 排出量が少ない。133.27m² 越えた場合、3 階建て住宅のほうが各部位表面面積の合計がより小さく、特に屋根面積が小さくなり、CO₂ 排出量の減少に効果的である。外気と接する表面面積と気積を考察すると、3 階建てのほうがより小さくなり、冬の散熱を抑え、住宅の断熱性がより増加したため、暖房による電力消費量を多く減少させることが出来ると考えられる。

5-6 まとめ

本論では、世帯の「年間 CO₂ 総量」を同一に負担する条件における CO₂ 均衡モデルによって、都市内の土地価格を場所によらず一定とする場合、住宅は都心に近いほどより大きな面積をとることが出来ることが説明された。立地と極大化した延床面積の関係を示す「限界効用曲線」をモデルの試算によって導いた（図 8）。同時に、立地に応じた最大床面積を

持つ住宅の空間規模特性も明らかにした(表4)。

その試行の結果によって、同じ床面積を持つ住宅が、資材工法が同一でも、住宅の空間規模を表す階数、床形状などの特性が異なることによってLCCO₂も異なる。環境負荷を低減させながら、都市立地に対応して、最も大きな空間規模を持つ住宅を示すことができた。単一建物においては、空間規模による環境負荷の差はわずかであるが、多くの人々が居住している都市全体において、その総量は無視できないと考えられる。

本論は、問題を分かりやすくために、鉄道沿線において交通移動を行う1次元都市モデルを作成し、木造独立住宅を対象として研究を行った。現実の都市空間を反映した、多様な交通手段で移動を行う2次元、3次元の都市モデルでは、住宅などの配置による環境負荷低減問題はより複雑な多目的問題となる。これらをモデル化して、総体的に扱う研究は今後の課題として進めて行きたい。

参考文献

- 1) 弥田俊男、宗本順三、吉田哲、高野俊吾、「独立住宅の建材選択に伴うLCC, LCCO₂, 最終廃棄物量低減の多目的問題」, 日本建築学会計画系論文集、第524号、pp.77-84、1999.10
- 2) 宗本順三、銚井修一、張本和芳、吉田哲、高野俊吾、「独立住宅モデルの建材選択に伴うLCC, LCCO₂, 最終廃棄物量低減の多目的問題、—その2. GAを用いた「標準問題の建物モデル」への住宅建材・工法選択システム—」日本建築学会計画系論文集、第551号、pp.85-92、2002.1
- 3) 酒井寛二、漆崎昇、相賀洋、下山真人、「建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量とその抑制方策に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集、第484号、pp.105-112、1996.6
- 4) 鈴木道哉、岡建雄、岡田圭史、「産業関連表による建築物の評価—その3. 住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量」日本建築学会計画系論文集、第463号、pp.75-82、1994.9
- 5) 漆崎昇、水野稔、下田吉之、酒井寛二、「長寿命化対策のライフサイクル資材使用量と二酸化炭素排出量に与える影響」, 日本建築学会計画系論文集、第561号、pp.85-92、2002.11
- 6) 漆崎昇、水野稔、下田吉之、酒井寛二、森正義、「建築物の長寿命化におけるライフサイクル廃棄物と二酸化炭素排出量に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集、第563号、pp.93-100、2003.
- 7) 鈴木勉、「コンパクトな立体都市空間形態に関する考察」第28回日本都市計画会学術研究論文集、pp.415-420、1993
- 8) 松橋啓介、「省エネルギー型都市の立体都市空間形態に関する考察—移動エネルギーの観点から—」, 第31回日本都市計画会学術研究論文集、pp.43-48、1996
- 9) 鈴木勉、「職住複合形式に着目した最適職住配置パターンに関する研究」, 第33回日本都市計画会学術研究論文集、pp.55-60、1998

- 10) 武元和治、酒井寛二、漆崎昇、中原智哉「都市更新における環境負荷に関する研究」、日本建築学会計画系論文集、第 524 号、pp.85-91、1999.10
- 11) 杉田 浩他「交通エネルギー消費量、交通費用、都市整備、維持費用からの都心居住と郊外居住の比較分析」、第 35 回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.247- 252、2000
- 12) 「省エネルギーハンドブック'2002」財団法人 建築環境・省エネルギー機構、2002
- 13) 「建築・地球環境・地球環境の在り方」、日本建築学会、日本建築学会地球環境特別研究委員会、1995.3
- 14) 「積算ポケット手帳 2003 前期編」、建築資料研究社、2003.6
- 15) 「理科年表 CD-ROM 2002」 文部科学省国立天文台編、2002
- 16) 「建物の LCA 指針」、日本建築学会、地球環境委員会、LCA 指針策定小委員会、1990.5
- 17) 「標準工事歩掛要覧 改訂版」、工事歩掛研究会編、経済調査会出版部、1983.5
- 18) 北野宏明編、「遺伝的アルゴリズム 2」、産業図書、1995
- 19) William Alonso, [Location and Land Use – Toward a General Theory of Land Rent], Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1964

第6章 結論

6-1 本研究のまとめ

環境負荷評価の研究はデータの整備が重要である。これからの研究には、検討対象のモデルは標準問題モデルの形状だけではなく、床面積比、平面形状、階高などを同時に変化させる独立住宅、さらに集合住宅までを含める。それに追従するデータベースは新しいものに更新する必要性もあったため改良した。さらに、改良したデータベースを基づいて、「建築GAシミュレータデータベース」プログラムの作成にした。本研究の環境負荷評価値の計算に用いたデータファイルはこのプログラムによって得た。

次に、構築した「建材・工法選択GAシステム」を用いて標準モデルに基づいて、その形状特性に応じたLCC、LCCO₂や最終廃棄物量の最小化された建材・工法の組合せを提示した。CO₂排出量を低減するには、2×4木造が選択され、コスト削減にはPC造、最終廃棄物量低減については2×4木造、在来木造の組合せから選択されている。「建材・工法選択GAシステム」でモデル化された住宅の形状（モデル形状）に応じて、LCC、LCCO₂や最終廃棄物量を減少させる建材・工法の組合せをパレート最適解として示すことが出来た。これらからトレードオフとして選択的に優秀な解を選ぶことが出来る。また、モデル形状の変化に対しての建材・工法選択の変化を把握し、様々なモデル形状に応じた環境負荷低減に有効な建材・工法の組合せを示すことが出来た。住宅形状と環境負荷の研究を進むために、より多く形の住宅形状を生み出す可能であるモデルを作った。今の段階には、3つの評価値が対応する最適な形状をGA評価によって選び出すことができた。

環境問題は、建築単体のみならず、都市的な集合でも検討する必要がある。人口の多くの人々の生活の場である都市と密接に関連しているため、世帯を単位として、住宅建物のライフサイクルから生じるCO₂と住宅立地から職場への通勤によるCO₂排出をともに考慮する必要がある。第5章では、世帯の年間あたりCO₂排出量を同一に負担する条件におけるCO₂均衡モデルによって、都市内の土地価格を場所によらず一定とする場合、住宅は都心に近いほどより大きな面積をとることが出来ることが説明された。立地と極大化した延床面積の関係を示す「限界効用曲線」をモデルの試算によって導いた。同時に、立地に応じた最大床面積を持つ住宅の空間規模特性も明らかにした。その試行の結果によって、同じ床面積を持つ住宅が、資材工法が同一でも、住宅の空間規模を表す階数、床形状などの特性が異なることによってLCCO₂も異なる。環境負荷を低減させながら、都市立地に対応して、最も大きな空間規模を持つ住宅を示すことができた。単一建物においては、空間規模による環境負荷の差はわずかであるが、多くの人々が居住している都市全体において、その総量は無視できないと考えられる。

6-2 今後の課題

環境問題に対する社会的な気運の高まりにより、今後さらに綿密な資材の特性把握や技術開発の活発化が予想される。このような各種取組が活発になり、十分なデータが得られると共に、それらの因果関係が複雑化していくことが予想され、そのような時に本論文で組み立てた形状・資材選択システムが実効性を発揮できると考えられる。また GA とは、爆発的な数の解の候補の中からより評価の優れた解を見出す問題や、未知の領域から新しい解を見つけ出す問題、多目的最適化の問題等に対しその有用性を発揮する手法であり、環境負荷低減を評価基準とした建築資材選択という本研究の問題対象において、その有用性が十分発揮された。環境負荷に対する計算は、データの精度の向上を通してシステムの有効性を確保することが不可欠である。また、共進的な研究に対応できる使い易いデータベースの整備も必要である。そのため、今後私たち開発されたデータベースプログラムをますます改良することが必要とある。

本研究は、モデルとした住宅の形状変化による工法や建材選択や、逆に環境負荷を減少させる住宅形状の探索などまで触った。さらに、現在のシステムに改良を加えて均衡モデルに発展させて住宅規模のモデルなどに適用した。これらの環境を考慮した住宅システムの設計ツールとして役立てていくには、居住者の生活パターンの違いによる空調条件の違いやライフステージに応じた建物の改修や建て替えなど、居住者の生活に応じたモデル設定の違いにより建材と工法の組み合わせがどのように異なるかなどのデータや研究が必要である。

また、第5章のような住宅の規模と立地に関する研究は、問題を分かりやすくするために、鉄道沿線において交通移動を行う1次元都市モデルを作成し、木造独立住宅を対象として研究を行った。現実の都市空間を反映した、多様な交通手段で移動を行う2次元、3次元の都市モデルでは、住宅などの配置による環境負荷低減問題はより複雑な多目的問題となる。都市居住者は自分の意向、好みによって住宅地や通勤方法を選ぶと考えられる。このような人の意向を考慮した環境負荷低減を目指す都市住宅地に関する研究は今後の課題である。これらをモデル化して、総体的に扱う研究は今後の課題として進めて行きたい。この研究の結果によって、都心に居住者を集めることの有利点を示した一方、多くの人々は都心に住宅地を求めるため都心部の熱環境が一層厳しくなることを想像できる。また、居住者は都心部の高価な土地を購入するために、盛んな経済活動をして、CO₂ 排出を促進している面がある。それに対して、有効な解決方法や、政策を検討する必要がある。